А. С. КОКОРЕВ

ЭЛЕКТРОСЛЕСАРЬ ПО РЕМОНТУ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН



А.С. КОКОРЕВ

ЭЛЕКТРОСЛЕСАРЬ ПО РЕМОНТУ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Издание третье,
переработанное и дополненное

Одобрено Ученым советом
Государственного комитета СССР
по профессионально-техническому образованию
в качестве учебника для средних
профессионально-технических
училищ



Москва
«Высшая школа» 1987

ББК 31.261
К 59
УДК 621.313

Рецензент — канд. техн. наук, доцент Н. Ф. Котеленец
(Московский энергетический институт)

Кокорев А. С.

К 59 Электрослесарь по ремонту электрических машин: Учеб. для СПТУ.— 3-е изд., перераб. и доп.— М.: Высш. шк., 1987.— 175 с.: ил.

Описаны устройство асинхронных двигателей, машин постоянного тока и составляющих их элементов, процессы дефектировки, предремонтных испытаний, разборки и ремонта сборочных единиц электрических машин, их сборка и испытания после ремонта.

Третье издание дополнено сведениями о допусках и посадках, слесарно-сборочных и такелажных работах.

К $\frac{2302030000 (4307000000)—487}{052(01)—87}$ 28—88

ББК 31.261
6П2.1.081

ПРЕДИСЛОВИЕ

Важнейшим средством механизации и автоматизации производственных процессов является современный электропривод, основным звеном которого служат электрические машины, преобразующие энергию.

XXVII съезд КПСС поставил перед электротехнической промышленностью задачи — увеличить производство электродвигателей переменного тока мощностью до 400 кВт, выпуск турбогенераторов мощностью до 1 млн. кВт, в том числе для атомных электростанций, современной бесконтактной аппаратуры управления, освоить серийный выпуск комплектующих изделий для гибких производственных систем, промышленных роботов.

Не только количество, но также и надежность электрических машин в значительной степени определяют технический уровень производства во всех отраслях народного хозяйства. Эксплуатационная надежность электрических машин зависит не только от качества их изготовления, но и от правильного технического обслуживания и своевременного ремонта.

Предприятия, занимающиеся в настоящее время ремонтом десятков миллионов находящихся в эксплуатации электрических машин, постоянно нуждаются в квалифицированных кадрах электрослесарей-ремонтников.

Ремонт электрической машины в ряде случаев связан с ее модернизацией. В соответствии с конкретными требованиями совершенствуется ее конструкция, повышается надежность и безопасность обслуживания, изменяются параметры в нужном направлении (частота вращения, мощность, напряжение и т. д.). Это требует привлечения к ремонтным работам квалифицированных рабочих.

В учебнике описаны наиболее характерные конструкции электрических машин и их составных частей, процессы ремонта, изучение которых призвано помочь учащимся в их практической деятельности.

ГЛАВА I

ДОПУСКИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

§ 1. Взаимозаменяемость

Перед промышленностью стоит задача изготовлять современные надежные изделия с минимальной стоимостью. С целью увеличения производительности труда и качества продукции на отдельных заводах сосредоточивается выпуск однотипных изделий, что позволяет осуществить их серийное и массовое производство, повысить степень механизации и автоматизации технологических процессов, снизить себестоимость продукции и улучшить ее качество. При специализации возникает необходимость кооперирования предприятий для выпуска сложной продукции, включающей в себя ряд более простых изделий.

Кооперирование, основанное на специализации предприятий, возможно только при условии взаимозаменяемости деталей, сборок и изделий. *Взаимозаменяемостью* изделий или их частей называется их свойство равноценно заменять любой из множества экземпляров другим однотипным. Наиболее широко применяют полную взаимозаменяемость, при которой обеспечивается беспригоночная сборка и замена изделий и их частей при ремонте. Полная взаимозаменяемость упрощает процесс сборки, облегчает внедрение автоматизации производства, а также ремонт машин при эксплуатации, однако для этого требуется точное выполнение деталей, что приводит к высоким затратам на их изготовление. Поэтому в некоторых случаях оказывается экономически целесообразной неполная (ограниченная) взаимозаменяемость деталей или изделий. Применяют селективную сборку с групповым подбором, регулирование положения некоторых деталей машин и приборов, подгонку и другие технологические мероприятия. Сортировку деталей на группы при подборе осуществляют с помощью измерительных калибров, а в массовом производстве — на автоматах. Сборку каждой группы производят отдельно по методу полной взаимозаменяемости.

Различают также внешнюю и внутреннюю взаимозаменяемость. *Внешней* называется взаимозаменяемость изделий по их эксплуатационным параметрам и присоединительным размерам. Например, для электродвигателей эксплуатационными параметрами являются: мощность, частота вращения, напряжение; к присоединительным размерам относятся диаметр и вылет вала, диаметр и размеры между

осями отверстий в лапах, предназначенных для крепления изделия на месте установки. *Внутренней* называют взаимозаменяемость отдельных деталей или сборок, входящих в изделие.

§ 2. Поля допусков и посадки

Размеры деталей при их изготовлении невозможно измерить с абсолютной точностью. Некоторая погрешность вносится обычно при их изготовлении, поэтому различают действительный, предельные и номинальный размеры.

В зависимости от необходимой степени точности изготовления деталей устанавливают *предельные* размеры. Различают наибольший и наименьший предельные размеры: d_{max} и d_{min} для вала и D_{max} и D_{min} для отверстия (рис. 1, *а*).

Действительным называют размер, установленный измерением с допустимой погрешностью. Действительный размер находится между предельными размерами или равен одному из них. Разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами называют *допуском* на изготовление детали. Допуск на диаметр вала равен $T_d = d_{max} - d_{min}$, допуск на диаметр отверстия $T_D = D_{max} - D_{min}$.

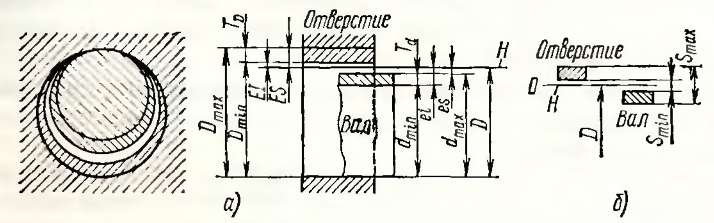


Рис. 1. Схематическое изображение полей допусков отверстия и вала при посадке с зазором (*а*) и их упрощенная схема (*б*): *H* — нулевая линия

Допуск в чертежах указывается в виде двух предельных отклонений от номинального размера D (общего для обеих деталей). Различают верхнее и нижнее предельные отклонения, которые указываются цифрой соответственно со знаком «+» или «—».

Верхним предельным отклонением называется алгебраическая разность между наибольшим предельным и номинальным размерами; нижним — алгебраическая разность между наименьшим предельным и номинальным размерами. Для отверстия верхнее отклонение $ES = D_{max} - D$, нижнее — $EI = D_{min} - D$; для вала верхнее отклонение $es = d_{max} - D$, нижнее — $ei = d_{min} - D$.

Пространство, ограниченное линиями верхнего и нижнего отклонений (заштрихованные полоски), называется *полем допуска*. Оно определяется допуском и его положением относительно номинального размера.

Каждый из двух предельных размеров определяют по отклонению от номинального размера. Так, например, по проставленному на чертеже размеру вала $42^{-0,013}_{-0,024}$ определяем:

наибольший предельный размер 42—0,013=41,987 мм,
наименьший предельный размер 42—0,024=41,976 мм.

В рассмотренном примере $42^{-0,013}_{-0,024}$ верхним является отклонение es=41,987—42=—0.013; нижним ei=41,976—42=—0,024. Являясь алгебраическими величинами, отклонения могут быть положительными и отрицательными. При записи верхнее отклонение располагают над нижним, например: $60^{+0,04}_{-0,12}$; $60^{-0,095}_{-0,195}$. Предельные отклонения, равные нулю, не указывают: $60^{+0,2}$; $60_{-0,2}$. При равенстве абсолютных величин отклонений их указывают один раз со знаком ±: 60±0,2.

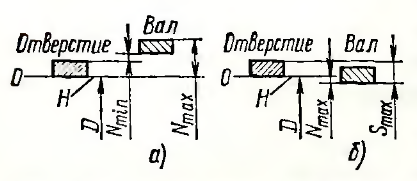


Рис. 2. Схема полей допусков при посадках с натягом (*а*) и переходной (*б*)

Допуски и размеры деталей можно показать схематически, в виде полей допусков без изображения самих деталей (рис. 1, *б*). Поле условно показывается в виде прямоугольника, верхняя и нижняя стороны которого соответствуют верхнему и нижнему предельным отклонениям. Положительные отклонения откладывают вверх от нулевой линии, а отрицательные — вниз. Такие упрощенные схемы можно вычерчивать в масштабе, они получаются более простыми и наглядными.

Поверхности, по которым происходит соединение деталей, называют *сопрягаемыми*, остальные поверхности являются *несопрягаемыми* (свободными).

В соединениях деталей, входящих одна в другую, различают *охватываемые* и *охватывающие детали*. Вал является охватываемой деталью, отверстие — охватывающей. В дальнейшем при рассмотрении допусков и посадок следует иметь в виду, что термины «вал» и «отверстие» относятся не только к цилиндрическим деталям круглого сечения, но и к элементам деталей другой формы, например, ограниченными двумя параллельными плоскостями.

При соединении двух деталей образуется *посадка*. В зависимости от расположения полей допусков различают посадки с зазором, натягом (рис. 2, *а*) и переходные (рис. 2, *б*); при переходных посадках возможно получение как зазора, так и натяга. Посадка характеризует свободу относительного перемещения соединяемых деталей и степень сопротивления их взаимному перемещению.

Посадка с зазором получается, если размер вала меньше размера отверстия. Она характеризуется наименьшим $S_{min}=D_{min}-d_{max}$ и наибольшим $S_{max}=D_{max}-d_{min}$ зазорами и обеспечивает возможность взаимного перемещения деталей, поэтому ее называют также подвижной посадкой. При посадке с зазором поле допуска отверстия расположено над полем допуска вала. Посадки с зазором часто применяются для подшипников скольжения. Зазор обеспечивает свободу вращения вала в подшипнике. К посадкам с зазором относятся также посадки, в которых нижняя граница поля допуска отверстия совпадает с верхней границей поля допуска вала, т. е. $S_{min}=0$.

Посадка с натягом (неподвижная) получается в том случае, когда до соединения деталей размер вала больше размера отверстия (поле допуска вала расположено над полем допуска отверстия). Натягом N называется разность размеров вала и отверстия до сборки. Он обеспечивает взаимную неподвижность деталей после сборки. Максимальный натяг посадки $N_{max}=d_{max}-D_{min}$, минимальный $N_{min}=d_{min}-D_{max}$. При переходной посадке заданные отклонения на вал и отверстие перекрывают друг друга. Что будет при сборке — зазор или натяг,— определяется действительными размерами соединяемых деталей.

Различные посадки можно получить, изменяя положение полей допусков обеих соединяемых деталей. Однако в производстве удобнее получать нужную посадку, изменяя положение поля допуска только вала или только отверстия, поэтому стандартом предусмотрены посадки в системе отверстия и в системе вала, и вводится понятие основной детали системы — детали, у которой положение поля допуска не зависит от вида посадки. В системе допусков и посадок основными деталями служат отверстия и валы, имеющие основное отклонение, равное нулю. В системе отверстия посадки с различными зазорами и натягами получаются соединением различных валов с основным отверстием, а в системе вала — соединением различных отверстий с основным валом.

Точные отверстия обрабатывают дорогостоящим режущим инструментом — зенкерами, развертками, протяжками и т. д.,— каждый из которых предназначен для получения отверстия только одного размера с определенным полем допуска. Точные отверстия во многих случаях также приходится измерять специальным измерительным инструментом — калибрами. Валы можно обрабатывать и измерять универсальными инструментами: резцами, шлифовальными кругами, микрометрами и т. д. Применение системы отверстия дает возможность уменьшить номенклатуру инструмента, поэтому она получила преимущественное распространение.

§ 3. Единая система допусков и посадок

Системой допусков и посадок называют закономерно построенную совокупность рядов допусков и посадок, оформленную в стандартах.

В настоящее время большинство стран мира применяют системы допусков и посадок ИСО (Международной организации по стандартизации), что позволяет обеспечить взаимозаменяемость изделий и их составных частей, изготовленных в разных странах. В СССР и других странах, входящих в СЭВ, введена Единая система допусков и посадок — ЕСДП СЭВ, разработанная на основе ИСО и оформленная в виде стандартов СТ СЭВ 144-75, 145-75 и др.

ЕСДП СЭВ обеспечивает единое оформление технической документации, создает возможность стандартизации режущего инструмента и мерительных калибров, взаимозаменяемость деталей и сборочных едиииц.

Для построения системы допусков устанавливают единицу допуска, которая является мерой точности. Допуск не совсем полно характеризует точность изготовления. С увеличением размеров детали становится труднее выполнить ее с малыми допусками. Кроме того, опыт применения различных посадок показывает, что с увеличением размеров деталей допуск на их изготовление может быть увеличен без ущерба для надежности соединения. Трудности обработки в основном возрастают по закону кубической параболы, поэтому единицу допуска для интервала размеров 1—500 мм определяют по формуле $i=0{,}45\sqrt[3]{D}+0{,}001D$.

Стандарт СТ СЭВ 145-75 устанавливает 19 квалитетов: 01, 0, 1, 2, . . ., 17. *Квалитетом* называют совокупность допусков, соответствующих одинаковой степени точности для всех номинальных размеров. Допуск T для любого квалитета определяется по формуле $T=ai$, где a — коэффициент, зависящий от квалитета и не зависящий от номинального размера. Для упрощения построения системы

Таблица 1. **Допуски для размеров до 500 мм** (квалитеты 5...13)

Интервал размеров, мм	Значение допуска, мкм, для квалитета								
	5	6	7	8	9	10	11	12	13
До 3	4	6	10	14	25	40	60	100	140
Свыше 3 до 6	5	8	12	18	30	48	75	120	180
» 6 » 10	6	9	15	22	36	58	90	150	220
» 10 » 18	8	11	18	27	43	70	110	180	270
» 18 » 30	9	13	21	33	52	84	130	210	330
» 30 » 50	11	16	25	39	62	100	160	250	390
» 50 » 80	13	19	30	46	74	120	190	300	460
» 80 » 120	15	22	35	54	87	140	220	350	540
» 120 » 180	18	25	40	63	100	160	250	400	630
» 180 » 250	20	29	46	72	115	185	290	460	720
» 250 » 315	23	32	52	81	130	210	320	520	810
» 315 » 400	25	36	57	89	140	230	360	570	890
» 400 » 500	27	40	63	97	155	250	400	630	970

допусков весь интервал номинальных размеров от 1 до 500 мм разбивают на 13 интервалов: от 1 до 3 мм; свыше 3 — до 6 мм; свыше 6 — до 10 мм и т. д. (табл. 1). Для каждого интервала и квалитета установлен единый допуск.

Квалитеты 01, 0, 1 предназначены для концевых мер длины, которые изготовляются в виде брусков (плиток) прямоугольного сечения и служат для проверки измерительных средств. Расстояние у плиток между измерительными поверхностями выдерживается с очень высокой степенью точности. Так, например, у наиболее точных плиток размер 100 мм выдерживается с точностью ±0,1 мкм. Квалитеты 2, 3, 4 применяют при изготовлении калибров и для особо точных деталей, квалитеты 5. . .13 — для сопрягаемых размеров, а 14. . .17 — для несопрягаемых (свободных) и неответственных размеров.

Установленные стандартом допуски и отклонения относятся к деталям, размеры которых определены при температуре 20 °С. Все точные измерения производят обязательно при этой температуре. Важно также соблюдать это условие для крупных деталей и деталей, коэффициент линейного расширения материала которых отличается

Таблица 2. **Предпочтительный ряд полей допусков и предельных отклонений отверстий при номинальных размерах от 1 до 500 мм**

Интервал номинальных размеров, мм	Предельные отклонения, мкм, при полях допусков									
	H7	*Is7*	*K7*	*N7*	*P7*	*F8*	*H8*	*E9*	*H9*	*H11*
От 1 до 3	+10 0	+5 —5	0 —10	—4 —14	—6 —16	+20 +6	+14 0	+39 +14	+25 0	+60 0
Свыше 3 до 6	+12 0	+6 —6	+3 —9	—4 —16	—8 —20	+28 +10	+18 0	+50 +20	+30 0	+75 0
» 6 » 10	+15 0	+7 —7	+5 —10	—4 —19	—9 —24	+35 +13	+22 0	+61 +25	+36 0	+90 0
» 10 » 18	+18 0	+9 —9	+6 —12	—5 —23	—11 —29	+43 +16	+27 0	+75 +32	+43 0	+110 0
» 18 » 30	+21 0	+10 —10	+6 —15	—7 —28	—14 —35	+53 +20	+33 0	+92 +40	+52 0	+130 0
» 30 » 50	+25 0	+12 —12	+7 —18	—8 —33	—17 —42	+64 +25	+39 0	+112 +50	+62 0	+160 0
» 50 » 80	+30 0	+15 —15	+9 —21	—9 —39	—21 —51	+76 +30	+46 0	+134 +60	+74 0	+190 0
» 80 » 120	+35 0	+17 —17	+10 —25	—10 —45	—24 —59	+90 +36	+54 0	+159 +72	+87 0	+220 0
» 120 » 180	+40 0	+20 —20	+12 —28	—12 —51	—28 —68	+106 +43	+63 0	+185 +85	+100 0	+250 0
» 180 » 250	+46 0	+23 —23	+13 —33	—14 —60	—33 —79	+122 +50	+72 0	+215 +100	+115 0	+290 0
» 250 » 315	+52 0	+26 —26	+16 —36	—14 —66	—36 —88	+137 +56	+81 0	+240 +110	+130 0	+320 0
» 315 » 400	+57 0	+28 —28	+17 —40	—16 —73	—41 —98	+151 +62	+89 0	+265 +125	+140 0	+360 0
» 400 » 500	+63 0	+31 —31	+18 —45	—17 —80	—45 —108	+165 +68	+97 0	+290 +135	+155 0	+400 0

от коэффициента линейного расширения материала измерительного инструмента.

За основное отклонение, определяющее положение поля допуска относительно нулевой линии, в системе СЭВ принято отклонение, ближайшее к нулевой линии. Всего для валов и отверстий установлено по 28 рядов основных отклонений, которые обозначаются одной

Таблица 3. **Предпочтительный ряд полей допусков и предельных отклонений для валов при номинальных размерах от 1 до 500 мм**

Интервал номинальных размеров, мм	Предельные отклонения, мкм, при полях допусков							
	*g*6	*h*6	j_s6	*k*6	*n*6	*p*6	*r*6	*s*6
От 1 до 3	–2 –8	0 –6	+3,0 –3,0	+6 0	+10 +4	+12 +6	+16 +10	+20 +14
Свыше 3 до 6	–4 –12	0 –8	+4,0 –4,0	+9 +1	+16 +8	+20 +12	+23 +15	+27 +19
» 6 » 10	–5 –14	0 –9	+4,5 –4,5	+10 +1	+19 +10	+24 +15	+28 +19	+32 +23
» 10 » 18	–6 –17	0 –11	+5,5 –5,5	+12 +1	+23 +12	+29 +18	+34 +23	+39 +28
» 18 » 30	–7 –20	0 –13	+6,5 –6,5	+15 +2	+28 +15	+35 +22	+41 +28	+48 +35
» 30 » 50	–9 –25	0 –16	+8,0 –8,0	+18 +2	+33 +17	+42 +26	+50 +34	+59 +43
» 50 » 80	–10 –29	0 –19	+9,5 –9,5	+21 +2	+39 +20	+51 +32	—	—
» 80 » 120	–12 –34	0 –22	+11,0 –11,0	+25 +3	+45 +23	+59 +37	—	—
» 120 » 180	–14 –39	0 –25	+12,5 –12,5	+28 +3	+52 +27	+68 +43	—	—
» 180 » 250	–15 –44	0 –29	+14,5 –14,5	+33 +4	+60 +31	+79 +50	—	—
» 250 » 315	–17 –49	0 –32	+16,0 –16,0	+36 +4	+66 +34	+88 +56	—	—
» 315 » 400	–18 –54	0 –36	+18,0 –18,0	+40 +4	+73 +37	+98 +62	—	—
» 400 » 500	–20 –60	0 –40	+20,0 –20,0	+45 +5	+80 +40	+108 +68	—	—

Продолжение табл. 3

Интервал номинальных размеров, мм	Предельные отклонения, мкм, при полях допусков							
	*f*7	*h*7	*e*8	*h*8	*d*9	*h*9	*d*11	*h*11
От 1 до 3	–6 –16	0 –10	–14 –28	0 –14	–20 –45	0 –25	–20 –80	0 –60
Свыше 3 до 6	–10 –22	0 –12	–20 –38	0 –18	–30 –60	0 –30	–30 –105	0 –75
» 6 » 10	–13 –28	0 –15	–25 –47	0 –22	–40 –76	0 –36	–40 –130	0 –90
» 10 » 18	–16 –34	0 –18	–32 –59	0 –27	–50 –93	0 –43	–50 –160	0 –110
» 18 » 30	–20 –41	0 –21	–40 –73	0 –33	–65 –117	0 –52	–65 –195	0 –130
» 30 » 50	–25 –50	0 –25	–50 –89	0 –39	–80 –142	0 –62	–80 –240	0 –160
» 50 » 80	–30 –60	0 –30	–60 –106	0 –46	–100 –174	0 –74	–100 –290	0 –190
» 80 » 120	–36 –71	0 –35	–72 –126	0 –54	–120 –207	0 –87	–120 –240	0 –220
» 120 » 180	–43 –83	0 –40	–85 –148	0 –63	–145 –245	0 –100	–145 –295	0 –250
» 180 » 250	–50 –96	0 –46	–100 –172	0 –72	–170 –285	0 –115	–170 –460	0 –290
» 250 » 315	–56 –108	0 –52	–110 –191	0 –81	–190 –320	0 –130	–190 –510	0 –320
» 315 » 400	–62 –119	0 –57	–125 –214	0 –89	–210 –350	0 –140	–210 –570	0 –360
» 400 » 500	–68 –131	0 –63	–135 –232	0 –97	–230 –385	0 –155	–230 –630	0 –400

или двумя буквами латинского алфавита: прописной для отверстий и строчной для валов.

Таким образом, обозначение поля допуска состоит из буквы (или двух) и номера квалитета, например: *H*7; I_s7; *k*6.

Для отверстий принят следующий ряд основных отклонений: *A*, *B*, *C*, *CD*, *D*, *E*, *EF*, *F*, *FG*, *G*, *H*, *I*, I_s, *K*, *M*, *N*, *P*, *R*, *S*, *T*, *U*, *V*, *X*, *Y*, *Z*, *ZA*, *ZB*, *ZC*, где *A* — наибольшее положительное отклонение, *C* — наибольшее отрицательное отклонение, *H* — нулевое отклонение. Обозначения основных отклонений для валов:

$a, b, c, \ldots, zc$. В первую очередь применяют предпочтительные поля допусков (табл. 2 и 3).

Стандартом разрешается в чертежах предельные отклонения указывать тремя способами: условными обозначениями предельных отклонений, например: $60H7$; $60h7$; числовыми величинами, например: $60^{+0{,}03}$; $60^{-0{,}03}_{-0{,}06}$, а также условными обозначениями предельных отклонений и справа от них в скобках их числовые величины, например: $60H7^{(+0{,}03)}$; $60f7^{(-0{,}03)}_{(-0{,}06)}$.

Посадки образуются путем сочетания полей допусков размеров соединяемых деталей. Применяют посадки в системе отверстия и в системе вала. В системе отверстия за основу принято отверстие, а та или иная посадка получается путем изменения поля допуска вала. Стандарт СЭВ 144—75 рекомендует следующие предпочтительные посадки в системе отверстия (в числителе указаны поля допусков отверстия, в знаменателе — вала): $\frac{H7}{e8}$; $\frac{H7}{f7}$; $\frac{H7}{g6}$; $\frac{H7}{h6}$; $\frac{H7}{j_s6}$; $\frac{H7}{k6}$; $\frac{H7}{n6}$; $\frac{H7}{p6}$; $\frac{H7}{r6}$; $\frac{H7}{s6}$; $\frac{H8}{e8}$; $\frac{H8}{h7}$; $\frac{H8}{h8}$; $\frac{H8}{d9}$; $\frac{H9}{d9}$; $\frac{H11}{d11}$; $\frac{H11}{h11}$.

В системе вала посадки получаются изменением поля допуска отверстия, основной деталью является вал: $\frac{F8}{h6}$; $\frac{H7}{h6}$; $\frac{I_s7}{h6}$; $\frac{K7}{h6}$; $\frac{N7}{h6}$; $\frac{P7}{h6}$; $\frac{H8}{h7}$; $\frac{E9}{h8}$; $\frac{H8}{h8}$; $\frac{H11}{h11}$.

Иногда в сборочных чертежах проставляют посадку соединенных деталей. Сначала указывают номинальный размер, общий для соединяемых элементов, затем посадку в виде дроби, например $50\frac{H8}{d9}$, или $50H8/d9$. Допускается обозначение посадки через дефис, например $50H8$-$d9$.

§ 4. Основные понятия об измерениях

Изучением измерений методов и средств обеспечения их единства и достижения требуемой точности занимается метрология.

Измерением называется нахождение значений физических величин опытным путем с помощью специальных технических средств. Результаты измерений должны быть выражены в общепринятых единицах с определенной точностью.

Средствами измерений называют технические средства, используемые при измерениях и имеющие нормированные погрешности. Средства измерений делят на меры и измерительные приборы. С помощью меры воспроизводят физическую величину заданного размера. Так, например, гиря является мерой массы, измерительная катушка — мерой индуктивности. *Измерительным прибором* называют средство, предназначенное для выработки измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем, например весы со стрелочной или цифровой индикацией.

Различают измерения прямые и косвенные, абсолютные и относительные.

Прямое измерение производится путем сравнения с мерой или отсчета показаний по прибору, шкала которого градуирована в требуемых единицах: измерение длины линейкой, определение массы взвешиванием и т. д. При косвенном измерении искомую величину определяют по известной зависимости между этой величиной и величинами, полученными прямыми измерениями: нахождение сопротивления проводника по показаниям амперметра и вольтметра, угла по измеренным катету и гипотенузе и др.

Абсолютное измерение основано на прямых измерениях одной или нескольких величин, или на использовании значений физических констант, например определение длины в метрах, электрического тока в амперах. При относительных измерениях сравнивают измеряемую величину с одноименной, играющей роль единицы.

Результаты измерений физической величины дают лишь приближенное ее значение. В метрологии различают *истинное и действительное значения* физической величины. Истинное значение может быть определено лишь при отсутствии ошибок измерения, которые неизбежны. Поэтому за истинное принимают действительное значение, полученное более точными измерениями.

Отклонение результатов измерения от истинного значения измеряемой величины называют *погрешностью измерения.* Различают абсолютную и относительную погрешности измерения.

Абсолютная погрешность Δx равна разности результата измерения x и истинного значения A измеряемой величины: $\Delta x = x - A$. Относительная погрешность измерения представляет собой отношение абсолютной погрешности к истинному значению, выраженное в процентах: $\delta x = (\Delta x / A) \cdot 100$.

Погрешности средства измерения зависят от его изготовления, хранения, эксплуатации, условий проведения измерений. В зависимости от условий применения различают *основную и дополнительную погрешности.* Дополнительная погрешность возникает при отклонении условий измерений от нормальных: повышенная или пониженная температура, вибрация, запыленность, повышенная влажность, наличие внешнего электрического и магнитного полей (для электроизмерительных приборов) и т. д.

Погрешность результата измерения равна сумме погрешностей прибора и метода измерения, настройки прибора по рабочей мере или эталону, температурных колебаний, ошибок визуальной оценки результатов измерения и других погрешностей.

Погрешность прибора вызывается несовершенством его конструкции, неточностью изготовления, износом в процессе эксплуатации.

В зависимости от пределов допускаемых погрешностей измерительным средствам присваиваются классы точности, на соответствие которым производится периодическая их проверка по образцовым мерам и приборам более высокого класса точности.

Погрешность отсчитывания появляется в результате неточного

отсчитывания показаний прибора. При недостаточно точной оценке на глаз доли деления шкалы, соответствующей положению указателя, появляется *погрешность интерполяции*.

Погрешность от параллакса возникает при наблюдении за стрелкой при отсчете в направлении, неперпендикулярном поверхности шкалы, когда стрелка расположена на некотором расстоянии от шкалы. В некоторых приборах наблюдается погрешность от перекоса, например в штангенциркулях она появляется при люфте рамки. *Погрешность* измерения *от измерительного усилия* возникает в результате деформации измерительного средства и изделия в месте соприкосновения.

К основным метрологическим показателям измерительных средств относятся: цена деления шкалы, интервал деления шкалы, допускаемая погрешность измерительного средства, диапазон измерений и измерительное усилие.

Ценой деления шкалы называется разность значений величин, соответствующих двум соседним отметкам шкалы. Цену деления не следует принимать за точность прибора. *Интервал деления шкалы* — это расстояние в миллиметрах между двумя соседними отметками.

Допускаемой погрешностью измерительного средства называется наибольшая погрешность, при которой она может быть допущена к применению. *Диапазоны измерений* — область значений измеряемой величины, для которой нормированы допускаемые погрешности средства измерения.

Измерение связано с определенными затратами времени и требует достаточно сложных технических средств. В производстве широко используется более производительная операция — *контроль*, при котором достаточно определить, находится ли действительная величина в допускаемых пределах. Например, проверяют, укладывается ли диаметр вала в границы допуска, указанные в чертеже. Контроль годности деталей наиболее часто осуществляют предельными калибрами, комплект которых состоит из проходного и непроходного калибров.

§ 5. Средства линейных измерений

Наиболее точным средством измерения в машиностроении являются плоскопараллельные концевые меры длины. Их изготовляют из закаленной стали в виде прямоугольных параллелепипедов (плиток), у которых две противоположные измерительные грани расположены строго параллельно на очень точном расстоянии L (рис. 3). Тщательная обработка измерительных поверхностей придает им свойство притираться друг к другу, поэтому плитки можно собирать в блоки различных размеров. Собранный блок плиток, между которыми возникли силы сцепления, не рассыпается и представляет как бы монолитную меру длины. Плитки с размерами между измерительными гранями от 0,1 до 1000 мм выпускают в виде наборов и применяют для проверки средств измерений, их настройки при относительных измерениях, наладки станков и т. д.

К универсальным измерительным инструментам относятся штангенциркули, штангенглубиномеры, штангенрейсмасы и микрометрические измерительные инструменты.

Штангенциркуль ШЦ-1 с двусторонним расположением губок для наружных и внутренних измерений и линейкой для измерения глубин и высоты уступов (рис. 4) представляет собой штангу *3* с основной шкалой *5*, по которой может передвигаться рамка *2* с дополнительной шкалой *6* (нониусом). На шкале *5* цифры означают

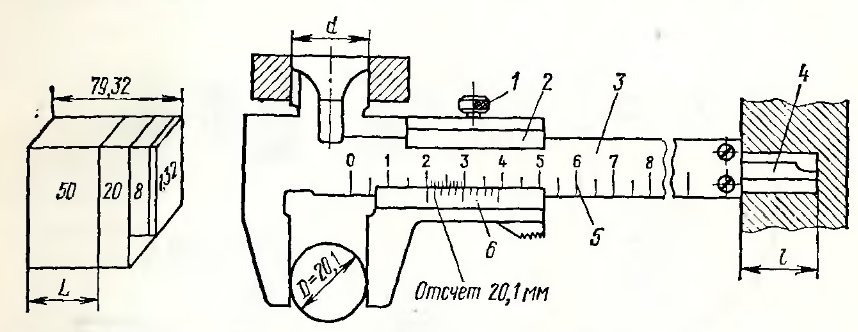


Рис. 3. Блок плиток с размером 79,32 мм

Рис. 4. Штангенциркуль

сантиметры, а каждое деление — миллиметры. С рамкой связана линейка *4* для измерения глубин. Винт *1* служит для фиксации рамки в нужном положении. Диапазон измерений штангенциркуля ШЦ-1 0—125 мм с отсчетом по нониусу 0,1 мм. Целые миллиметры отсчитывают по шкале *5*, десятые доли — по совпадению какого-либо деления нониуса с одним из делений основной шкалы. На рисунке первое деление нониуса совпадает с делением шкалы *5*, что соответствует размеру 20,1 мм (для наружного диаметра D, внутреннего — d и глубины l). Нониусы для различных типов штангенинструментов выпускают также с ценой деления 0,05 мм, реже 0,02 мм. Существуют штангенциркули с круговым нониусом, имеющие отсчет по нониусу 0,1 или 0,01 мм.

Штангенрейсмасы предназначены для измерения высоты деталей, установленных на поверочной плите, и для разметочных работ. Существуют штангенрейсмасы с цифровым отсчетом показаний с ценой деления 0,05 и 0,01 мм.

Микрометры гладкие (рис. 5, *а*) предназначены для измерения наружных размеров. Основные детали микрометра: скоба *1*, пятка *2*, измерительный наконечник *3*, являющийся продолжением микрометрического винта, ввинченного в стебель *5*, запрессованный в скобу, зажим *4*. С винтом жестко соединен барабан *6*, на конце которого находится трещотка *7* для ограничения измерительного усилия. При повороте барабана на одно деление ($^1/_{50}$) микровинт, шаг резьбы которого равен 0,5 мм, перемещается вместе с барабаном на 0,01 мм (0,5 мм : 50=0,01 мм). Число целых миллиметров и полумил-

лиметры отсчитывают по шкале, нанесенной на стебле, сотые доли определяют по делениям на скошенной части барабана. *Микрометрические нутромеры* (рис. 5, *б*) и *глубиномеры* (рис. 5, *в*) также имеют винтовую пару и две шкалы. Пример отсчета размера 12,83 мм приведен на рис. 5, *г*.

Для более точных измерений применяют рычажные микрометры, которые кроме микрометрической винтовой пары имеют встроенное в скобу отсчетное устройство с ценой деления 0,002 мм.

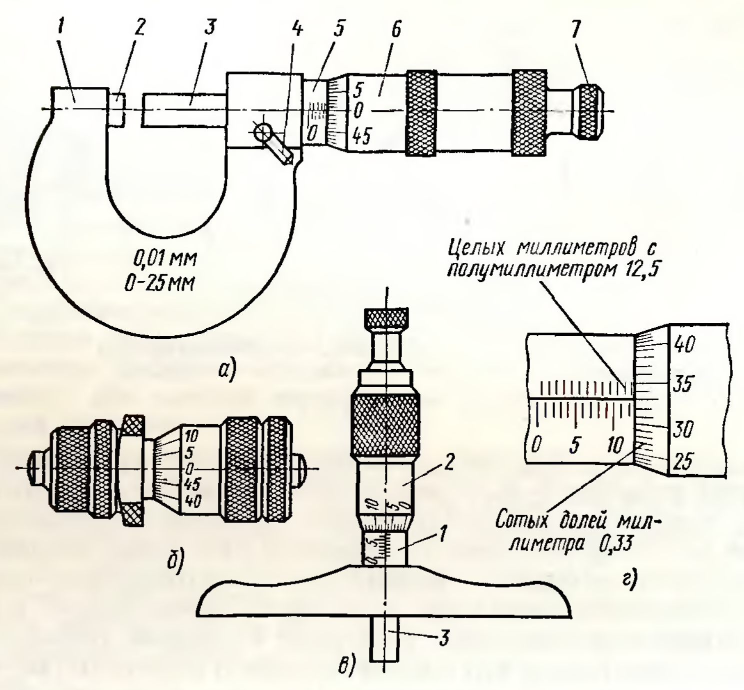


Рис. 5. Микрометр (*а*), нутрометр (*б*) и глубиномер (*в*) микрометрические, пример отсчета (*г*)

Стрелочные отсчетные головки — индикаторы часового типа, рычажно-зубчатые головки, пружинные измерительные головки — широко применяются для относительных измерений, контроля формы поверхностей. Они преобразуют небольшие перемещения измерительного стержня в удобные для отсчета перемещения стрелки по шкале. Благодаря большому передаточному отношению преобразующего механизма головки позволяют производить отсчет с высокой точностью.

В индикаторах часового типа возвратно-поступательное движение стержня преобразуется в круговое движение стрелки с помощью зубчатых колес. Они выпускаются с ценой делений до 0,01 мм.

Рычажно-зубчатые индикаторы имеют цену деления до 0,001 мм и применяются при точных измерениях вместо индикаторов часового типа. Их механизм кроме зубчатой передачи имеет систему рычагов, которая позволяет повысить передаточное отношение и точность измерений. В головках типа ИГ (рис. 6) применен механизм с двумя рычажными и одной зубчатой передачами. При перемещении измерительного стержня *1* происходит поворот рычага *3*, который воздействует на рычаг *5*, имеющий на большом плече зубчатый сектор, входящий в зацепление с зубчатым колесом *4*. На оси колеса расположены стрелка и втулка, связанная со спиральной пружиной *6*, выбирающей зазоры в передачах. Измерительное усилие создается

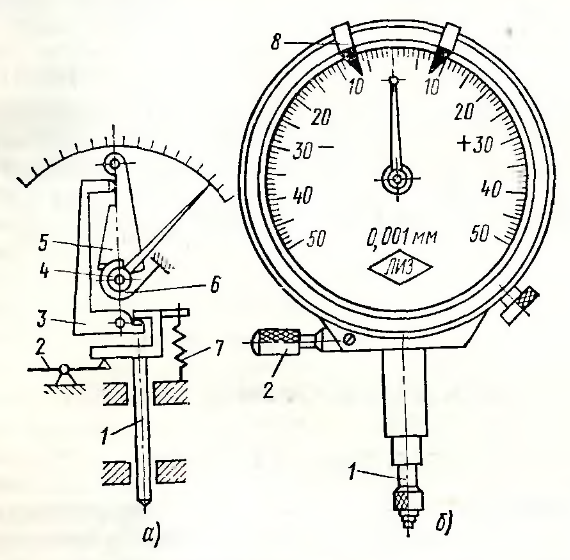


Рис. 6. Рычажно-зубчатая измерительная головка:
а — схема устройства, *б* — общий вид

пружиной *7*. Шкала снабжена двумя переставляемыми указателями *8* поля допуска и арретирующим устройством *2*, с помощью которого измерительный стержень поднимается перед установкой под него измеряемого изделия.

Пружинные измерительные головки (микрокаторы ИГП, микаторы ИРП) выпускают с ценой деления до 0,0001 мм. Их передаточным механизмом является бронзовая закругленная лента, один конец которой прикреплен к неподвижной опоре, второй — к угольнику. Стрелка прибора закреплена к середине ленты, измерительный стержень упирается в угольник и растягивает ленту. Лента при растяжении раскручивается и поворачивает стрелку, которая представляет собой тонкий трубчатый волосок с наружным ⌀ 0,06—0,07 мм. Отсчет показаний по шкале микрокатора затруднен из-за малой толщины стрелки и ее вибрации.

Оптикатор, созданный на базе микрокатора, лишен этих недостатков. В этом приборе пружинный передаточный механизм микрокатора совмещен с увеличивающей оптической передачей. На ленте вместо стрелки укрепляют зеркальце. Пучок лучей от источника

света падает на зеркальце и, отразившись от него, попадает на стеклянную пластинку, на которой нанесен указательный штрих. При перемещении измерительного стержня перемещается изображение штрихового указателя по шкале прибора.

Контрольные вопросы

1. Какие мероприятия позволяют наладить выпуск современных изделий с минимальной стоимостью?
2. Что такое взаимозаменяемость и какие виды ее вы знаете?
3. В чем заключается отличие поля допуска от допуска?
4. Расскажите о посадках при соединении деталей.
5. Что называют квалитетом и почему в системе допусков номинальные размеры разбивают на ряд интервалов?
6. Как получают различные посадки в системе ЕСДП СЭВ?
7. Почему наибольшее распространение получила система отверстия?
8. Расскажите об измерениях прямых и косвенных, абсолютных и относительных
9. Расскажите о погрешностях измерений.
10. Расскажите о средствах линейных измерений.

ГЛАВА II

СЛЕСАРНО-СБОРОЧНЫЕ РАБОТЫ

§ 6. Общие сведения

Производственный процесс, в результате которого исходные материалы и полуфабрикаты превращаются в готовые изделия, включает два основных вида технологических процессов: изготовление деталей и сборку.

Изделием обычно называют продукт конечной стадии производства, выпускаемый предприятием. Изделиями могут быть как детали, так и сборки (сборочные единицы). *Деталью* называют изделие, изготовленное из однородного по наименованию и марке материала. *Сборка* — это изделие, которое получают в результате соединения между собой отдельных элементов. Сборка может состоять из одних деталей или из деталей и более мелких сборок.

Технологический процесс сборки разделяют на операции, переходы и приемы. *Сборочная операция* — это законченная часть технологического процесса сборки, выполняемая при изготовлении изделия на отдельном рабочем месте одним или несколькими рабочими. Операция может состоять из ряда *переходов*, которые характеризуются постоянством применяемого инструмента. *Приемом* называют часть перехода, состоящую из ряда простейших рабочих движений, выполняемых одним рабочим.

Операция и переход — элементы технологического процесса. Их содержание записывают в *технологическую карту*, которая является одним из основных документов при изготовлении изделия. На выполнение операции рабочему устанавливают норму времени.

Кроме технологической карты существуют *маршрутная карта*, которая содержит описание всего технологического процесса изготовления по всем операциям, карта технологического процесса для одного вида работ, *комплектовочные карты*, *ведомость оснастки* и т. д.

Различают две основные организационные формы сборки: стационарную и подвижную. *Стационарная сборка* осуществляется на неподвижном рабочем месте, к которому подают все необходимые детали, материалы и более мелкие сборочные единицы, сборка которых может выполняться на отдельных рабочих местах (по принципу расчленения операций), что позволяет сократить время процесса.

Подвижную сборку выполняют только по принципу расчленения операций. Изделие в процессе сборки перемещается от одного рабочего места к другому. Рабочие места оснащены необходимыми инструментами и приспособлениями. Такой вид сборки позволяет специализировать сборщиков на определенных операциях и повысить производительность труда.

В зависимости от расположения рабочих мест относительно друг друга различают сборку поточную и непоточную. При подвижной *поточной сборке* рабочие места располагаются в последовательности выполнения операций технологического процесса сборки, а весь процесс расчленяется на отдельные операции, примерно равные или кратные по времени выполнения. Собранные изделия сходят с поточной линии через определенные промежутки времени, называемые *тактом*. Поточная сборка может быть осуществлена как при подвижном, так и при неподвижном собираемом объекте.

В производстве крупных изделий применяют поточную сборку на неподвижных стендах, при которой рабочий или бригада рабочих выполняют одну и ту же операцию, переходя от одного стенда к другому. После выполнения последней операции с каждого стенда снимают готовое изделие.

При поточной сборке процесс сборки точно расчленяется на операции по времени их выполнения, чтобы избежать простоев. Этого добиваются механизацией определенных операций, предварительным соединением деталей в сборочные единицы, увеличением количества рабочих, выполняющих трудоемкие операции.

Каждая деталь при сборке должна занять определенное место и должна быть соединена с другими деталями в соответствии с требованиями, установленными чертежами. Как чрезмерные зазоры, так и натяги неблагоприятно отражаются на работоспособности изделия. Погрешности сборки вызываются отклонениями размеров деталей и несоблюдением требований к качеству их поверхностей, неточной установкой и закреплением элементов изделия в процессе сборки, низким качеством пригонки и регулировки сопрягаемых деталей и другими причинами.

Точность сборки обеспечивается методами полной, неполной и групповой взаимозаменяемости, а также пригонкой и регулировкой.

Сборка методом пригонки производится со снятием с одной из деталей слоя материала для получения заданной точности соединения. Сборка этим методом трудоемка и целесообразна в единичном и мелкосерийном производстве.

Сборка методом регулировки заключается в том, что необходимая точность сопряжения достигается путем введения специальных деталей — *компенсаторов*. Компенсаторы подразделяют на неподвижные и подвижные.

Неподвижный компенсатор — это деталь, дополнительно вводимая в конструкцию для достижения необходимого положения устанавливаемой детали. В качестве неподвижного компенсатора часто применяется набор регулировочных колец разной толщины, которые устанавливаются на валу или в корпусе для регулировки положения шарикоподшипника и других деталей в осевом направлении. Для выполнения заданного в сборочном чертеже размера подбирают необходимое число и толщину колец.

Подвижный компенсатор — это деталь, перемещением которой устраняют погрешности изготовления деталей, входящих в последовательную размерную цепь. Такой деталью, например, является винт-подпятник в измерительных приборах. Его вращением обеспечивается заданный люфт подвижной части прибора.

§ 7. Типы соединений деталей

По конструктивным признакам и условиям эксплуатации соединения деталей могут быть разделены на подвижные и неподвижные. *Подвижными* называют соединения, при которых в рабочем состоянии детали обладают возможностью перемещения друг относительно друга. Детали *неподвижных* соединений в рабочем состоянии не могут перемещаться.

Подвижные и неподвижные соединения в зависимости от возможности их разборки (демонтажа) подразделяются на разъемные (свободно разбираемые) и неразъемные (неразбираемые). При *разъемных* (демонтируемых) соединениях разборка происходит без повреждения соединяющих и скрепляющих их деталей. Остальные соединения относятся к неразъемным. Процесс разборки при *неразъемных* соединениях более сложен, чем при разъемных, и после разборки часто одна или обе соединяемые детали оказываются непригодными.

Таким образом, соединения могут быть неподвижные разъемные (резьбовые, шпоночные, шлицевые); неподвижные неразъемные (прессовые, заклепочные, сварные, клеевые, паяные); подвижные разъемные (например, вал с подшипником скольжения); подвижные неразъемные (большинство шарикоподшипников).

По технологическим признакам соединения деталей подразделяют на резьбовые, сварные, паяные, прессовые, заклепочные, клеевые и др.

§ 8. Резьбовые соединения

Резьбовые соединения выполняют с помощью болтов, винтов, шпилек и гаек.

Болт *1* (рис. 7, *а*), представляющий собой металлический стержень с резьбой на одном конце и головкой на другом, свободно проходит через гладкие (нерезьбовые) отверстия в деталях. Детали *2*, *3* в болтовом соединении притягиваются друг к другу при завинчивании гайки *4* на резьбовом конце болта. *Гайка* — это деталь с резьбовым отверстием, наружная поверхность которой имеет форму,

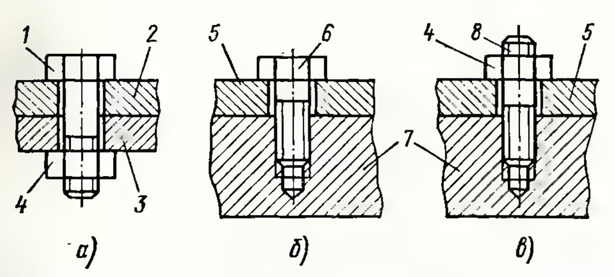


Рис. 7. Резьбовые соединения:
1 — болтовое, *б* — винтовое, *в* — шпилечное

удобную для захвата ключом или рукой. В винтовом соединении (рис. 7, *б*) винт *6* ввинчивается в резьбовые отверстия основной детали *7* и притягивает к ней деталь *5*, в которой просверлено гладкое отверстие для свободного прохождения винта.

Винт и *болт* — сходные по конструкции детали. Головки как у того, так и другого могут иметь различную форму. Головки бывают шестигранные, круглые, квадратные и другой формы. Винт отличается от болта длиной нарезанной части: у винта она обычно выполнена на всю длину, у болта примерно на длину двух диаметров резьбы.

Соединение с помощью *шпилек* (рис. 7, *в*) осуществляется следующим образом. Сначала шпилька *8*, представляющая собой металлический стержень с резьбой на обоих концах, ввинчивается в основную деталь *7*. Затем на шпильку надевается деталь *5* с гладким отверстием, которая притягивается к основной детали гайкой *4*.

В процессе сборки резьбовых соединений производится наживление (предварительное ввинчивание) резьбовых деталей, завинчивание их до упора, предварительная и окончательная затяжка, контроль затяжки и стопорение.

Наживление обычно производится вручную. Для завинчивания применяется ручной (гаечные ключи и отвертки) и механизированный инструмент: электрические, пневматические и гидравлические переносные и стационарные гайковерты.

Надежность и долговечность резьбовых соединений во многом определяются правильностью их затяжки в процессе сборки. В технических требованиях на сборку ответственных соединений указы-

ваются моменты затяжки гаек и винтов. Механизированный инструмент наряду с быстрым навинчиванием гайки или завинчиванием винта должен обеспечить также заданный момент затяжки резьбового соединения. Для выполнения этого требования вращение от двигателя к ключу передается через муфту, кулачки которой сцепляются под действием пружины. При моменте, большем момента, на который отрегулирована муфта, кулачки проскальзывают друг относительно друга, что сопровождается характерным «прощелкиванием», сигнализирующим об окончании затяжки. Изменением усилия пружины можно регулировать момент размыкания кулачковой муфты.

При работе изделия может произойти ослабление резьбового соединения в результате самоотвинчивания винтов и гаек. Для предотвращения самоотвинчивания резьбовые соединения после

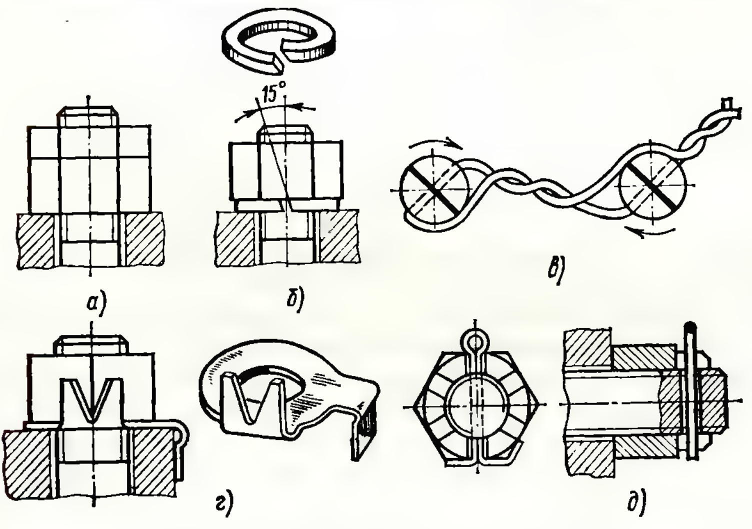


Рис. 8. Стопорение резьбовых соединений:
а — контргайкой, *б* — упругой шайбой, *в* — мягкой проволокой, *г* — плоскими деформируемыми шайбами, *д* — шплинтами

затяжки стопорят. Существует множество различных способов стопорения. Особенно надежным оно должно быть в тех изделиях, которые работают в условиях ударных нагрузок, тряски и вибрации.

Стопорение контргайкой (рис. 8, *а*) заключается в том, что после затяжки соединения крепежной (основной) гайки на резьбовый конец навинчивается вторая гайка — контргайка. Ее затягивают до плотного соприкосновения с торцом основной. Стопорение происходит под воздействием сил трения в резьбе и на торцовых поверхностях гаек. Этот способ стопорения недостаточно надежен при повышенных вибрациях и применяется в настоящее время сравнительно редко.

Стопорение упругими шайбами основано на создании постоянных сил трения в резьбе и на торце гайки. Наиболее часто применяют

пружинную шайбу в виде кольца с косым разрезом под углом 15° (рис. 8, *б*). Концы шайбы слегка разведены и выполнены с острыми кромками. При затяжке шайба сжимается, кромки врезаются в тело гайки и опорную поверхность детали, препятствуя самоотвинчиванию.

Стопорение проволокой применяют для парных винтов (рис. 8, *в*) и целых групп винтов. Для этого мягкую проволоку продевают в отверстия головок. Концы проволоки скручивают плоскогубцами. При вязке надо соблюдать следующее правило: натяжение проволоки должно создавать момент в направлении затяжки винтов: для правой резьбы — по часовой стрелке, для левой — против нее. Проволока создает жесткое стопорение — отвинчивание может произойти только при ее разрыве.

Жесткое стопорение получается также при применении плоских деформируемых шайб (рис. 8, *г*) и шплинтов (рис. 8, *д*). Отвинчивание может произойти только при их деформации или срезе. Один усик шайбы после сборки отгибают на грань детали, фиксируя на ней шайбу, второй — на грани гайки. Шплинт пропускают через отверстие в болте и прорезь в гайке, концы его отгибают.

Применяются также и другие способы стопорения. В последние годы широкое распространение получило стопорение с помощью клея, краски и других составов. Клей наносят на резьбу винта или в резьбовое гнездо детали перед сборкой соединения, краску — на головку винта с заходом на смежную деталь. Перед нанесением состава поверхности обезжиривают.

§ 9. Шпоночные и шлицевые соединения

Шпоночные и шлицевые соединения предназначаются для передачи крутящего момента. С их помощью закрепляют на валах шкивы, шестерни, муфты, вентиляторы и другие детали.

Наиболее распространены призматические шпонки (рис. 9, *а*), устанавливаемые в пазы валов с натягом по боковым граням. Для облегчения монтажа охватывающей детали на вал между верхней гранью шпонки и дном канавки в детали оставляют зазор. Когда деталь должна в процессе работы свободно перемещаться в осевом направлении, в соединении между шпонкой и боковыми гранями детали оставляют зазоры, а шпонку прикрепляют к валу винтами.

Сегментные шпонки (рис. 9, *б*) имеют небольшую длину, поэтому их применяют в малонагруженных соединениях. По сравнению с призматическими шпонками они имеют некоторые технологические преимущества: пазы в валах прорезают дисковыми фрезами, имеющими высокую производительность, крепление шпонок на валу получается устойчивее вследствие большей глубины врезания. Демонтаж шпонок несложен и осуществляется легким ударом по концу шпонки.

Шпоночные соединения на большие крутящие моменты приходится выполнять со шпонками большого сечения, а пазы в валах с большой глубиной, что снижает их прочность.

В шлицевых соединениях (рис. 9, *в*) усилие воспринимается большим числом выступов, что позволяет при значительных моментах ограничиться выступами небольшой высоты. Современные методы обработки шлицевых деталей обеспечивают высокую точность и их взаимозаменяемость. Применяют шлицевые соединения прямоугольные, треугольные и эвольвентные. В зависимости от используемой посадки шлицевые соединения разделяют на подвижные, легкоразъемные и тугоразъемные.

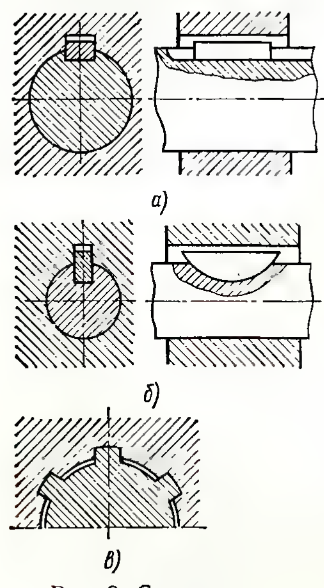


Рис. 9. Соединения:
а — с призматической шпонкой, *б* — с сегментной шпонкой, *в* — с прямоугольными шлицами

Перед сборкой шлицевого соединения осматривают состояние шлицев обеих деталей. Даже незначительные забоины, задиры и заусенцы на шлицах не допускаются. В тугоразъемных соединениях охватывающую деталь насаживают на прессе или специальном приспособлении. Применять молоток не следует, так как при ударах возможен перекос детали и задиры на шлицах. При очень тугих посадках охватывающую деталь перед насадкой нагревают, а после монтажа и охлаждения проверяют точность сборки. Неподвижные шлицевые соединения после сборки проверяют на радиальное и торцовое биения.

§ 10. Соединения с натягом

В соединениях с натягом охватывающая деталь имеет внутренний диаметр меньше диаметра вала. После сборки сопротивление взаимному смещению деталей создается силами упругой деформации растяжения охватывающей детали и сжатия вала. Прочное соединение обеспечивается натягом — разностью диаметров вала и отверстия.

Соединения с гарантированным натягом условно делят на продольно-прессовые и поперечно-прессовые.

Сборка продольно-прессовых соединений производится с применением ручных, пневматических и гидравлических прессов путем приложения осевой силы *F* (рис. 10, *а*) к одной из деталей. На поверхности контакта деталей возникают значительные нормальные (перпендикулярные к поверхности) давления *p* (рис. 10, *б*) и силы трения, которые препятствуют сдвигу деталей.

Перед запрессовкой оси деталей необходимо совместить. Обычно для этого на валу или в отверстии делается проточка, в результате вал на некоторую длину свободно вставляется в охватывающую деталь. Опорные поверхности деталей должны быть строго перпендикулярны их осям, чтобы избежать перекосов при запрессовке. Усилие запрессовки следует увеличивать плавно. Чтобы уменьшить усилие запрессовки и избежать задиров поверхностей, контактирующие поверхности перед сборкой смазывают. Наиболее эффективна дисульфитмолибденовая смазка (в виде порошка или пасты); она уменьшает усилие запрессовки даже при сборке соединений с большими натягами до 30 % и устраняет вибрацию пресса. Контроль качества продольно-прессового соединения осуществляется по усилию пресса, которое указывается в технологической документации.

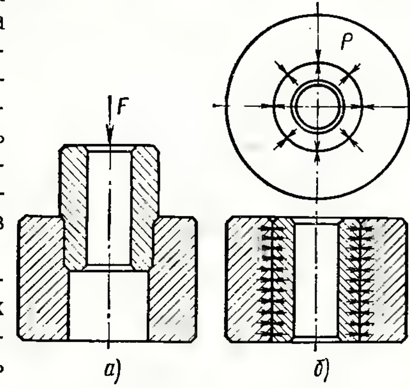


Рис. 10. Схема продольно-прессового соединения в процессе (*а*) и после запрессовки (*б*)

В поперечно-прессовых соединениях сближение сопрягаемых поверхностей происходит радиально к поверхности. Чтобы получить такие соединения, охватывающую деталь перед сборкой обычно нагревают. При этом способе прочность соединения увеличивается в 2—3 раза, так как при сборке не происходит износа поверхностей, а микронеровности как бы сцепляются друг с другом. После охлаждения деталь плотно охватывает вал.

Минимальная температура нагрева охватывающей детали диаметром d для осуществления свободной сборки определяется по формуле $t=(0{,}015+0{,}001\,d)/(\alpha d)$ (α — коэффициент линейного расширения материала детали). Подсчитанную по формуле температуру увеличивают на 20—30 %, чтобы компенсировать возможное охлаждение детали в процессе ее установки и запрессовки.

Применяют также сборку соединений с охлаждением охватываемой детали. При использовании для этой цели диоксида углерода (сухого льда) снижают температуру детали до 195 К, при применении жидкого азота — до 78 К. При очень больших натягах применяют комбинированный способ: охватывающую деталь нагревают, а охватываемую охлаждают.

§ 11. Заклепочные соединения

В современных конструкциях заклепочные соединения вытесняются сварными, клеевыми и резьбовыми соединениями. Заклепочные соединения применяют в сборках, подверженных большим динамическим нагрузкам, а также в тех случаях, когда нагрев соединяемых деталей нежелателен, и при сборке деталей из разнородных материалов, сварка и паяние которых затруднены, а склеивание не обеспечивает нужной прочности.

Наиболее распространены заклепки со сплошным стержнем (рис. 11, *а, б, в*), трубчатые (рис. 11, *г*) и полутрубчатые (рис. 11, *д*).

Для получения качественного соединения необходимо правильно выбрать длину стержня заклепки и диаметр отверстия в деталях. Длина должна быть такой, чтобы выступающая часть стержня для образования полукруглой головки была равна 1,3—1,6 диаметра стержня, а для потайной — 0,8—1,3.

Диаметр отверстия должен быть больше диаметра стержня заклепки, так как необходимо учитывать погрешности расположения отверстий. Диаметральный зазор — разность диаметров отверстия и стержня — составляет примерно 0,2 мм для заклепок с диаметром стержня до 6 мм, 0,25 мм — при ⌀ 6—10 мм и 0,3 мм — при ⌀ 10—18 мм. При больших зазорах в процессе клепки могут изогнуться стержни, сместиться детали, а при малых зазорах возникают трудности совмещения отверстий в соединяемых деталях.

В большинстве случаев применяют холодную клепку (без предварительного нагрева заклепок). Горячую клепку используют для

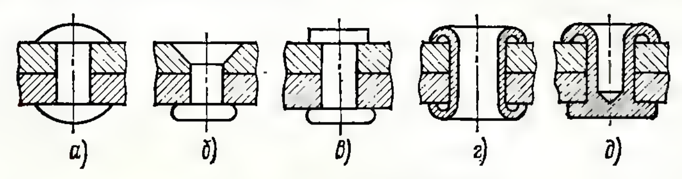


Рис. 11. Типы заклепок:

а — с полукруглой головкой, *б* — с потайной головкой, *в* — с цилиндрической головкой, *г* — трубчатая, *д* — полутрубчатая

заклепок диаметром более 12 мм. Стальные заклепки нагревают до 1270—1370 К, клепку заканчивают при температуре 720—770 К, так как ниже этой температуры металл теряет пластичность.

В серийном и массовом производстве для клепки применяют специальное оборудование. Для заклепок диаметром до 3 мм используют вибрационные, винтовые и педально-рычажные прессы. В часовой промышленности при диаметрах заклепок до 1 мм применяют клепальные соленоидные машины. Электронные регулирующие устройства этих машин позволяют точно отрегулировать силу удара и продолжительность клепки. Для заклепок ⌀ 3—12 мм используют пневматические прессы, при диаметрах свыше 12 мм — гидравлические.

Качество клепки проверяют внешним осмотром соединения и простукиванием. Дребезжащий или глухой звук появляется при неплотном соединении деталей. Контролируют правильность формы головок и их плотность прилегания к деталям. Отсутствие зазоров между склепанными деталями проверяют щупами.

§ 12. Сварные и клееные соединения

Сварка находит все более широкое применение для соединения металлических деталей и пластмасс. Сварные конструкции на 10—15 % легче клепаных и значительно менее трудоемки. Сваркой получают прочные соединения металлических конструкций при толщине деталей 0,1—250 мм. Сварка производится местным сплавлением деталей или пластическим деформированием (сварка давлением).

К сварке плавлением относятся электродуговая, газовая, электронно-лучевая, плазменная, лазерная и др.

Электродуговая сварка основана на расплавлении материала дугой, горящей между плавящимся металлическим электродом и свариваемыми деталями. Сварка может производиться при постоянном и переменном токе. Для защиты наплавленного металла от оксидирования и насыщения его азотом воздуха (что снижает пластичность шва) сварку проводят в струе нейтральных газов (аргона, гелия).

При *газовой сварке* для местного расплавления металлических деталей и присадочного материала используют пламя, образующееся при сгорании газов — ацетилена в кислороде. Качество соединения при газовой сварке ниже, чем при электродуговой, поэтому ее преимущественно применяют в полевых условиях, в мелкосерийном производстве и ремонтных работах.

Электронно-лучевая сварка осуществляется потоком электронов, испускаемых вольфрамовой спиралью, которая питается током высокого напряжения. Поток электронов фокусируется собирательными электромагнитными катушками. Кинетическая энергия электронов при падении на поверхность деталей превращается в тепловую, нагревая металл до 10 000 К. Диаметр пятна нагрева — от 2—3 мм до нескольких сотых миллиметра, что позволяет сваривать детали толщиной 0,01—100 мм. Сварку обычно ведут в вакууме для обеспечения свободного движения электронов и чистоты наплавленного металла.

Плазменная сварка производится струей нейтрального (азота, гелия, аргона) газа, ионизированного при проходе через электрическую дугу. В плазмотронных сварочных аппаратах газ ионизируют высокочастотным электромагнитным полем, струю плазмы формируют электромагнитными катушками, получая температуру до 40 000 К, что позволяет сваривать и резать наиболее тугоплавкие материалы, включая керамику. Для сварки тонких деталей применяют струю плазмы 1,5—2 мм, которая заканчивается острием.

Лазерная сварка основана на использовании концентрированного светового луча, температура которого достигает 10 000 К и имеет малое (от нескольких микрометров до нескольких сотых миллиметра) пятно нагрева, что позволяет сваривать детали толщиной до нескольких микрометров.

Распространенными способами сварки давлением являются контактная, ультразвуковая, диффузионная, газопрессовая, холодная, сварка трением, взрывом.

Контактную сварку подразделяют на точечную, роликовую и стыковую. При точечной и роликовой сварке электрический ток пропускают через электроды, сжимающие детали в виде листов, а при стыковой — через детали, прижатые друг к другу торцами.

При *ультразвуковой сварке* неразъемное соединение образуется при совместном воздействии на детали механических колебаний

высокой частоты и небольших сдавливающих усилий. Ультразвуковая сварка может быть точечной, шовной и стыковой.

Диффузионная сварка происходит в результате взаимной диффузии нагретых и прижатых друг к другу деталей. Ее производят в большинстве случаев в вакууме.

Газопрессовая сварка (газовая сварка давлением) осуществляется путем нагрева деталей как при газовой, с одновременным их сдавливанием на сварочной машине.

Холодная сварка происходит при значительных пластических деформациях без внешнего нагрева соединяемых частей. Сварку осуществляют с помощью механических и гидравлических прессов.

Сварка трением осуществляется теплотой, выделяющейся при вращении одной детали относительно другой и прижатии их друг к другу.

Сварку взрывом применяют для присоединения тонких листов к массивным деталям. На поверхность листа укладывают слой взрывчатого вещества, который взрывают детонатором. Под давлением взрыва лист прочно соединяется с деталью.

Склеивание является прогрессивным методом соединения деталей из металлических и неметаллических материалов. Оно не ухудшает их механических свойств, их внешнего вида и позволяет получить надежное соединение из разнородных материалов.

Технологический процесс получения клеевого соединения состоит из следующих этапов: подготовка поверхностей к склеиванию, приготовление клея и нанесение его на поверхности, соединение склеиваемых деталей и создание условий для отверждения клея, зачистка и контроль соединения.

Подготовка поверхностей к склеиванию является непременным условием получения прочного соединения. Поверхности подгоняют для плотного их прилегания и придают им шероховатость, очищая шкуркой, проволочными стальными щетками, дробеструйной или пескоструйной обработкой. Перед нанесением клея поверхности обезжиривают, протирая их растворителями (бензином, ацетоном) или промывая моющими растворами.

Клеи поставляются в готовом виде (например, БФ-2) или приготовляются из отдельных компонентов непосредственно перед их применением. Процесс подготовки клея состоит в смешивании необходимых компонентов в соответствующих соотношениях с соблюдением заданной последовательности. Работа эта выполняется в специальных помещениях с помощью клеемешалок и другого оборудования, а также контрольных приборов. Подготовка клея ведется с учетом срока его годности.

Клей наносят на обе соединяемые поверхности кистью, пульверизаторами, роликом, покрытым фетром, шприцами, на механизированных установках. Выдержка после нанесения клея, содержащего растворители, обязательна. Клей после удаления летучих веществ приобретает нужную вязкость, уменьшается усадка клеевого шва и вероятность появления внутренних раковин.

После сборки соединений для отверждения клея производят сдавливание деталей с выдержкой времени. Различают клеи холодного и горячего отверждения. Если применяют клеи, процесс отверждения которых происходит без нагрева, то продолжительность выдержки значительно увеличивается и может достичь 30—36 ч.

Для склеивания металлов, пластмасс и других неметаллических материалов широко используют клеи БФ-2, БФ-4, ВК-3, ВК-13, ВК-16, ПУ-2, ВС-10Т и др. Они могут быть либо жидкими, либо в виде пленки. Отверждение их происходит под давлением от 0,1 до 2 МПа (в зависимости от марки клея и формы поверхностей) при температуре до 200 °С.

Для контроля клеевое соединение осматривают, простукивают, а также для этой цели используют ультразвуковые установки и пьезоэлектрические вибраторы. Места с различным качеством проклейки отличаются проницаемостью звука и вибрацией.

Прочность клеевого соединения проверяют на специально подготовленных образцах или путем испытаний определенного процента изделий от партии. Прочность характеризуется сопротивлением клеевого соединения сдвигу, отрыву, отдиру.

Основные дефекты при склеивании: так называемый «непроклей» — наличие участков, в которых не произошло склеивания, пониженная прочность, пористость, утолщенный или слишком тонкий слой клея, трещины и расслаивание клеевой прослойки. Местное непроклеивание происходит из-за загрязнений, следов влаги и жира, недостаточного давления при склеивании и преждевременного затвердевания до создания давления.

Приготовление и нанесение клеев, сборка деталей и склеивание должны производиться в помещении, оборудованном приточно-вытяжной вентиляцией, вытяжными шкафами и местными отсосами воздуха. Мелкие детали рекомендуется склеивать в вытяжных шкафах.

Контрольные вопросы

1. Как организуют сборку изделий?
2. Какими методами обеспечивают точность сборки изделий?
3. Расскажите о типах соединений деталей.
4. Как производится сборка и контровка резьбовых соединений?
5. От чего зависит прочность соединений с натягом и как осуществляется их сборка?
6. Расскажите о преимуществах и недостатках заклепочных, сварных и клеевых соединений.

ГЛАВА III

УСТРОЙСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

§ 13. Общие сведения

В электрических машинах (рис. 12) неподвижную часть принято называть *статором*, вращающуюся — *ротором*. Статор и ротор разделены воздушным зазором *5*. В машине постоянного тока к

сети через коллектор *7* и щетки подсоединяется обмотка ротора, поэтому ее ротор называют якорем.

Полюс состоит из сердечника *11* и наконечника *14*, который представляет собой расширенную часть полюса, обращенную в сторону воздушного зазора. Сердечник *4*, вентилятор *10*, коллектор и подшипники *1* насаживаются на вал *9*.

Проводники, соединенные в определенной последовательности, образуют обмотку *6*, которую размещают в пазах *13* сердечника *4* ротора. Магнитное поле создается электромагнитами или постоянными магнитами. Обмотки электромагнитов *12*, называемые обмотками возбуждения, располагаются вокруг сердечников *11* полюсов.

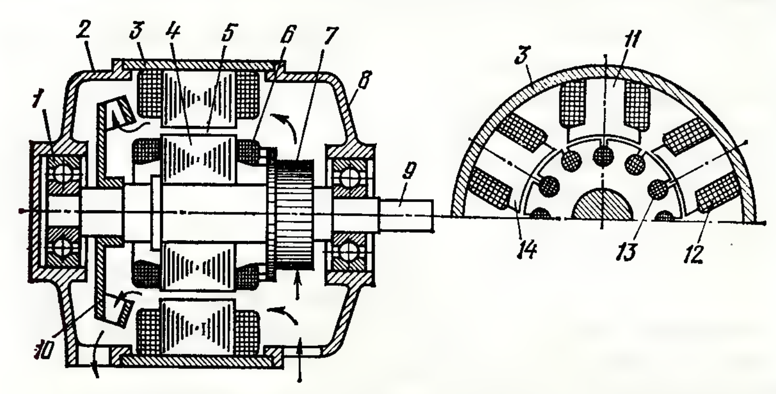


Рис. 12. Элементы конструкции электрической машины

Сердечники и обмотки в электрических машинах служат непосредственно для преобразования энергии, поэтому их называют также активными частями в отличие от конструктивных частей (корпусов, щитов, валов и других сборочных единиц и деталей, которые обеспечивают крепление активных частей).

Сердечники электрических машин пронизываются постоянным или переменным магнитным потоком. По сердечникам якорей всегда проходит переменный поток. Поэтому для уменьшения потерь от вихревых токов они выполняются шихтованными из листовой электротехнической стали. Массивными могут изготовляться полюса машин постоянного тока и синхронных машин.

Основным конструктивным элементом статора является корпус *3* (станина), в котором закрепляется сердечник или полюса с обмоткой. В машинах относительно малых размеров корпуса изготовляют литыми. В больших машинах оказывается более дешевой в производстве и более легкой сварная конструкция. С торцов к корпусу крепятся подшипниковые щиты *2* и *8* с подшипниками *1*, в которых вращается ротор.

В крупных машинах применение подшипниковых щитов оказывается невыгодным из-за их большой массы, поэтому подшипники закрепляют в стояках на фундаменте, на котором устанавливают также статор машины. У малых машин в некоторых случаях корпус

отливают с торцовой стенкой. Машина в этом случае имеет один подшипниковый щит.

Охлаждение машины обычно осуществляется вентилятором *10*. Воздух проходит через вентиляционные каналы в роторе, статоре и коллекторе, охлаждая обмотки, сердечники и другие нагретые части.

Электрические машины обладают свойством обратимости, т. е. могут работать как в генераторном, так и в двигательном режимах. Однако в большинстве случаев их изготовляют для какого-либо одного режима. Это позволяет лучше приспособить машину к требуемым условиям работы, уменьшить ее массу, габариты и повысить кпд.

По устройству электрические машины принято разделять на коллекторные и бесколлекторные. Коллекторные машины чаще всего используют для работы на постоянном токе в качестве генераторов и двигателей. Реже применяют коллекторные машины на переменном токе, главным образом в качестве электродвигателей сравнительно небольшой мощности.

Машины постоянного тока имеют сложный в изготовлении коллектор, который нуждается в тщательном уходе в эксплуатации и удорожает машину. Их применяют там, где необходимо плавное регулирование частоты вращения в широких пределах, частые пуски и реверсы *, большие пусковые моменты. Наибольшее распространение машины постоянного тока получили в металлургической промышленности для привода прокатных станов, а также шахтных подъемников, экскаваторов, трамваев, троллейбусов, тепловозов.

Асинхронные машины наиболее просты по своей конструкции и получили наиболее широкое распространение в качестве двигателей. Их изготовляют мощностью от десятков ватт до сотен и тысяч киловатт.

Синхронные машины применяют в качестве генераторов и двигателей. Синхронные генераторы мощностью от 1 МВт и более — турбогенераторы на тепловых станциях и гидрогенераторы на гидроэлектростанциях — являются основными источниками электрической энергии. Генераторы малой мощности от единиц до десятков киловатт используют для передвижных электростанций с двигателями внутреннего сгорания. Синхронные двигатели мощностью от нескольких сотен до десятков тысяч киловатт предназначаются для привода различных механизмов (компрессоров, насосов, вентиляторов, шаровых мельниц и т. д.). Они способны, отдавая в сеть реактивную мощность, повышать cos φ нагрузки, что при мощности в сотни киловатт и более дает существенную экономию электроэнергии.

Электрические машины на месте их установки крепятся с помощью лап, фланцев и других имеющихся на ней элементов. Конструктивные исполнения электрических машин по способу монтажа определяются наличием тех или иных крепящих элементов, рас-

* Реверс — изменение направления вращения.

положением оси машины (горизонтальное или вертикальное), подшипников (в щитах или на стояках) и устанавливаются СТ СЭВ 246-76.

Наиболее распространена машина с горизонтальной осью, на лапах (рис. 13) с двумя или одним подшипниковым щитом, монтируемая на полу. Ее условное обозначение по стандарту IM 1001 (табл. 4). Машина на лапах может быть также предназначена для установки на стене концом вала вверх или вниз (исполнения IM 1011 и IM 1031) или к потолку (IM 1071). Машины на лапах имеют также большой (больше диаметра корпуса) или малый фланец (исполнения IM 2001 и IM 2101), которым они крепятся к горизонтальной или вертикальной поверхности. Крепящие болты проходят через отверстия во фланце. При фланцевом креплении лапы могут вообще отсутствовать, а фланец располагаться либо со стороны конца вала, либо с противоположной стороны. Машины с двумя концами валов могут быть выполнены с двумя фланцами (IM 2202).

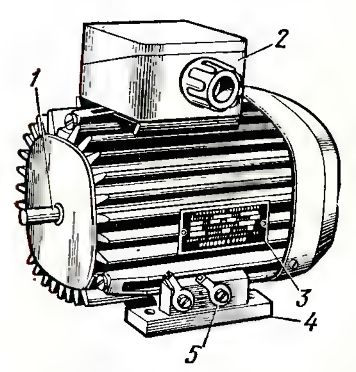


Рис. 13. Асинхронный двигатель 4АА56А:

1 — конец вала, *2* — коробка выводов, *3* — табличка, *4* — лапа, *5* — наконечники для заземления

Машины на лапах с двумя подшипниковыми щитами могут изготовляться с дополнительным стояковым подшипником, который снижает нагрузку на подшипник в щите со стороны выходного конца вала (исполнение IM 6010).

Крупные машины с наружным диаметром статора более 1 м могут не иметь щитов. Подшипники устанавливают на специальных стояках на общей фундаментной плите вместе с машиной или отдельно. Машины без щитов могут быть с одним или двумя (IM 7211) стояковыми подшипниками. Машины со стояковыми подшипниками мощностью в сотни и тысячи киловатт (крупные машины) изготовляют с горизонтально расположенным валом и креплением лапами вниз.

Таблица 4. **Основные конструктивные исполнения и способы монтажа электрических машин**

Конструктивное исполнение	Способы монтажа. Условное обозначение машины
На лапах с двумя подшипниковыми щитами	IM1001, IM1011, IM1031, IM1071
На лапах с фланцем на подшипниковом щите	IM2001, IM2202, IM2101
Со стояковыми подшипниками и подшипниковыми щитами (обозначение IM 6010) или без них (обозначение IM 7211)	IM6010, IM7211

Машины большой мощности с вертикально расположенным валом изготовляются с одним или двумя направляющими подшипниками, с направляющими подшипниками и подпятником, воспринимающим массу ротора. Подпятник может быть расположен выше корпуса ротора — подвесное исполнение или ниже — зонтичное.

Электрические машины изготовляют с одним или двумя концами вала, они могут быть с выступающими концами или без выступающих концов.

Таблица 5. **Цифровое обозначение исполнений конца вала**

Четвертая цифра в обозначении	Исполнение
0	Без конца вала
1	С одним цилиндрическим концом вала
2	С двумя цилиндрическими концами вала
3	С одним коническим концом вала
4	С двумя коническими концами вала
5	С одним фланцевым концом вала
6	С двумя фланцевыми концами вала

Концы валов могут быть цилиндрическими, коническими, фланцевыми (табл. 5). Без выступающих концов валов выпускают различные преобразователи электрической энергии, состоящие из двигателя и генератора, объединенных в одном корпусе, роторы которых насаживаются на один вал.

Четвертая цифра в обозначении конструктивного исполнения машины по способу монтажа обозначает форму конца вала (см. табл. 4). Например, электрическая машина с лапами, двумя подшипниковыми щитами и одним коническим концом вала, устанавливаемая горизонтально лапами вниз, обозначается IM 1003.

Надежность электродвигателей в большой степени зависит от того, насколько в их конструкции и исполнении предусмотрена способность противостоять воздействию климатических факторов внешней среды. К климатическим факторам относятся: температура, влажность воздуха, давление воздуха или газа (высота над уровнем моря), солнечная радиация, дождь, ветер, пыль (в том числе снежная), резкая смена температуры воздуха, соляной туман, иней, действие плесневых грибов и т. д. Исполнения двигателей для различных климатических районов установлены ГОСТ 15150-69 и 15543—70. В конце условного буквенно-цифрового обозначения типоразмера двигателя ставится буква, указывающая на исполнение двигателя для климата: У — умеренного, ХЛ — холодного,

ТВ — тропического влажного, ТС — тропического сухого, Т — тропического как влажного, так и сухого, О — для всех районов на суше (общеклиматическое исполнение), М — умеренно холодного морского, ТМ — тропического морского, ОМ — для неограниченных районов плавания (общеклиматическое морское), В — для всех районов на суше и на море.

В обозначении электродвигателя после буквы может быть поставлена цифра, характеризующая категорию исполнения в зависимости от места размещения двигателя в эксплуатации: 1 — для работы на открытом воздухе, 2 — для открытых помещений со свободным доступом наружного воздуха, 3 — для закрытых помещений, 4 — для закрытых отапливаемых и вентилируемых помещений, 5 — для помещений с повышенной влажностью.

Двигатели общего назначения обычно изготовляют для работы в районах с умеренным климатом — исполнение У, категории размещения 3 и 4 (У3 и У4).

ГОСТ 17494—72 на электрические машины устанавливает степень защиты персонала от соприкосновения с токопроводящими или движущимися частями, находящимися внутри машины, от попадания твердых посторонних тел и воды.

Электродвигатели общего применения в основном изготовляют двух степеней защиты: IP23 (или IP22 для двигателей постоянного тока) и IP44. Первая из них характеризует машины в защищенном исполнении, вторая — в закрытом.

Буквенно-цифровое обозначение степени защиты состоит из латинских букв IP (начальные буквы английских слов *International Protection*) и двух цифр. Первая из этих цифр характеризует степень защиты персонала от соприкосновения с токопроводящими и вращающимися частями, находящимися внутри машины, а также степень защиты самой машины от попадания в нее твердых посторонних тел; вторая цифра — от проникновения воды внутрь машины.

В обозначении IP23 первая цифра 2 указывает, что в машине обеспечена защита от возможного соприкосновения пальцев человека с токопроводящими и движущимися частями и попадания внутрь твердых посторонних тел диаметром не менее 12,5 мм. Цифра 3 указывает на обеспечение защиты от дождя, падающего на машину под углом не более 60 ° к вертикали, а в обозначении IP22 вторая цифра — от капель воды, падающих под углом не более 15° к вертикали.

В обозначении IP44 первая цифра 4 указывает на обеспечение защиты от соприкосновения инструмента, проволоки и других подобных предметов толщиной более 1 мм с токопроводящими частями внутри машины, а также от попадания внутрь предметов размерами не менее 1 мм. Вторая цифра 4 обозначает защиту от водяных брызг любого направления.

В настоящее время электрические машины общего назначения выпускают сериями, т. е. в каждую серию включен ряд машин по возрастающей мощности, объединенных общностью конструкции и

технологии, с широкой унификацией сборочных единиц и деталей и предназначенных для массового производства.

Первая в мировой практике единая серия асинхронных трехфазных двигателей А, АО мощностью от 0,6 до 100 кВт была создана и внедрена в производство в 1946—1951 гг.

В 1957—1959 гг. была разработана вторая единая серия асинхронных двигателей А2, АО2, позднее — третья А3, АО3.

В настоящее время освоена в производстве четвертая серия — 4А, соответствующая современному мировому уровню, имеющая более широкую унификацию сборочных единиц и меньшие габариты.

Благодаря непрерывному развитию электромашиностроения и смежных отраслей промышленности, появлению новых более теплостойких и механически прочных электроизоляционных материалов с малой толщиной и совершенных технологических процессов каждая из новых серий машин обладает более высокими технико-экономическими показателями по сравнению с предыдущими.

В обозначении типа асинхронного двигателя в первых трех сериях буква А означает асинхронный двигатель в защищенном исполнении, АО — в закрытом обдуваемом; первая цифра после букв— номер серии. Цифра после первого дефиса характеризует типоразмер: первая — габарит (условный номер наружного диаметра сердечника статора), вторая — условный номер его длины. Цифра после второго дефиса соответствует числу полюсов. Например, АО2-62-4 — асинхронный трехфазный электродвигатель в закрытом обдуваемом исполнении, второй единой серии 6-го габарита, 2-й длины, четырехполюсный.

Двигатели единых серий А, АО и А2, АО2 основного исполнения имеют короткозамкнутый ротор с литой алюминиевой обмоткой. На их базе выпускается ряд модификаций двигателей. При обозначении модификации к буквенной части добавляется буква для электродвигателей: с повышенным пусковым моментом — П (например, АОП2-62-4); с повышенным скольжением — С; для текстильной промышленности — Т; с фазным ротором — К.

Асинхронные двигатели с повышенным пусковым моментом предназначены для привода механизмов с большими нагрузками в период пуска. Двигатели с повышенным скольжением применяют для механизмов с неравномерным ударным характером нагрузки и большой частотой пусков и реверсов.

Для двигателей общего назначения с алюминиевой обмоткой статора в конце обозначения добавляется буква А (например, АО2-42-4А).

В двигателях на несколько частот вращения в цифровое обозначение числа полюсов вносят все их значения, разделенные косыми линиями, например АО-94-12/8/6/4 — трехфазовый асинхронный двигатель первой серии 9-го кабарита, 4-й длины на 12, 8, 6 и 4 полюса.

Буква Л (например, АОЛ2-21-6) обозначает, что корпус и щиты отлиты из алюминиевого сплава.

В единую серию 4А входят трехфазные двигатели мощностью 0,06—400 кВт с высотами осей вращения 55—355 мм.

Обозначение типоразмера двигателя серии 4А, например 4АН280М2У3, расшифровывается следующим образом: 4 — порядковый номер серии, А — вид двигателя (асинхронный), Н — защищенный (отсутствие данного знака означает закрытое обдуваемое исполнение), 280 — высота оси вращения (три или две цифры), мм, *S*, *M* или *L* — установочный размер по длине станины, 2 (или 4, 6, 8, 10, 12) — число полюсов, У3 — климатическое исполнение (У) и категория размещения (3).

После первой буквы А может стоять вторая А (например, 4АА63), которая означает, что станина и щиты выполнены из алюминиевого сплава, или Х — станина алюминиевая, щиты чугунные; отсутствие этих знаков свидетельствует о том, что станина и щиты чугунные или стальные.

В обозначении двигателей с фазным ротором ставится буква К, например 4АНК.

При одних и тех же размерах станины сердечник статора может иметь разные длины. В этом случае в обозначении типоразмера после букв *S*, *M*, *L* и непосредственно после высоты вращения, если эти буквы отсутствуют, ставятся знаки А (меньшая длина сердечника) или В (большая длина), например 4А90*L*А8, 4А90*L*В8, 4А71А6, 4А71В6 (см. прилож.).

Первые серии машин постоянного тока — ПН мощностью до 200 кВт и МП мощностью выше 200 кВт — были разработаны и освоены советскими электромашиностроителями к 1932 г. В 1954—1956 гг. была разработана первая единая серия П.

Машины серии П мощностью до 200 кВт изготовляют в закрытом и защищенном исполнении. Защищенные машины обозначают буквой П, закрытые с естественным охлаждением — ПБ, закрытые с наружным обдувом — ПО. Первое однозначное или двузначное число, следующее после буквы, обозначает порядковый номер габарита, последняя цифра — порядковый номер длины сердечника якоря.

Серии машин постоянного тока, как показывает практика, заменяются или коренным образом модернизируются через 15—20 лет. Выпуск новой единой серии 2П начат в 1975 г. В этой серии масса двигателей снижена на 10—20 %, значительно повышена их надежность. В настоящее время частично освоена производством серия 4П.

Принцип серийного выпуска машин оказывает существенное влияние на организацию их ремонта. Значительно сокращается номенклатура запасных частей, обмоточных проводов, изоляционных материалов. Появляется возможность увеличения производительности труда на ремонтных заводах за счет внедрения высокопроизводительного оборудования, организации производственных процессов по образцу электромашиностроительных заводов.

§ 14. Охлаждение электрических машин

В электрической машине при ее работе часть электрической и механической энергии превращается в теплоту. В первую очередь нагреваются обмотки проходящим по ним током. Сердечники, по которым проходит переменный магнитный поток, нагреваются вихревыми токами, а коллектор, контактные кольца и подшипники — потерями трения. Кроме того, происходит нагревание вращающихся частей за счет трения их о воздух.

Чрезмерное повышение температуры может привести к быстрому износу и разрушению материалов, из которых изготовлены детали машины. Наиболее чувствительна к повышению температуры изоляция обмоток, поэтому обмотки в первую очередь нуждаются в охлаждении.

Способ охлаждения машины определяется ее мощностью и защитой от окружающей среды. В микромашинах теплоотдающая поверхность сравнительно велика по отношению к ее объему, поэтому они обычно не нуждаются в специальных вентиляционных устройствах. Для их охлаждения достаточно, как правило, естественной теплоотдачи в окружающую среду. Машины мощностью в сотни ватт и более обычно охлаждаются вентилятором *1* (рис. 14, *а* — *в*), установленным на валу; вместо вентилятора иногда к торцам ротора крепят вентиляционные лопатки *6* (рис. 14, *г*). Охлаждающий воздух проходит по вентиляционным каналам в статоре, роторе, коллекторе, охлаждая обмотки, сердечники и другие нагретые части машины. Воздушные струи в первую очередь стараются направить на обмотки, так как они являются наиболее нагретой частью машины.

В зависимости от места расположения вентилятора различают вытяжную и нагнетательную системы вентиляции. В первом случае вентилятор устанавливают в месте выхода воздушного потока (рис. 14, *а*) из машины, во втором — в месте входа (рис. 14, *б*). При вытяжной вентиляции холодный воздух сначала охлаждает нагретые части, а при нагнетательной — сначала проходит через вентилятор, где подогревается на 3—7 °С за счет трения о лопатки.

Воздушные потоки могут быть направлены параллельно оси машины или расходиться радиально от оси. В зависимости от этого различают осевую (рис. 14, *а*, *б*) и радиальную (рис. 14, *г*) системы вентиляции. В крупных электрических машинах при радиальной системе сердечники статоров и роторов изготовляют из пакетов *5*, разделенных радиальными вентиляционными каналами *4*. Воздух по каналам прогоняется распорками, выполненными в виде пластинок, которые устанавливают между пакетами так же, как лопатки вентилятора. В малых машинах радиальные вентиляционные каналы могут отсутствовать. Роль вентилятора в них играют лобовые части роторных обмоток, увлекающие за собой при вращении частицы воздуха или вентиляционные лопатки, которые устанавливают на торцах ротора.

Наружная поверхность машины закрытого исполнения обдувается вентилятором *1* (рис. 14, *в*), установленным на консольном конце

вала за подшипниковым щитом. Поток воздуха направляется кожухом *3* на наружную часть корпуса с ребрами *2*, увеличивающими поверхности теплоотдачи. Для передачи теплоты от внутренних частей к корпусу в закрытых машинах организуется внутренняя циркуляция воздуха с помощью лопаток на роторе или дополнительного вентилятора, установленного внутри машины.

В открытых машинах охлаждающий воздух непосредственно омывает теплоотдающие поверхности нагретых частей, в закрытых теплопередача происходит через промежуточные элементы; например,

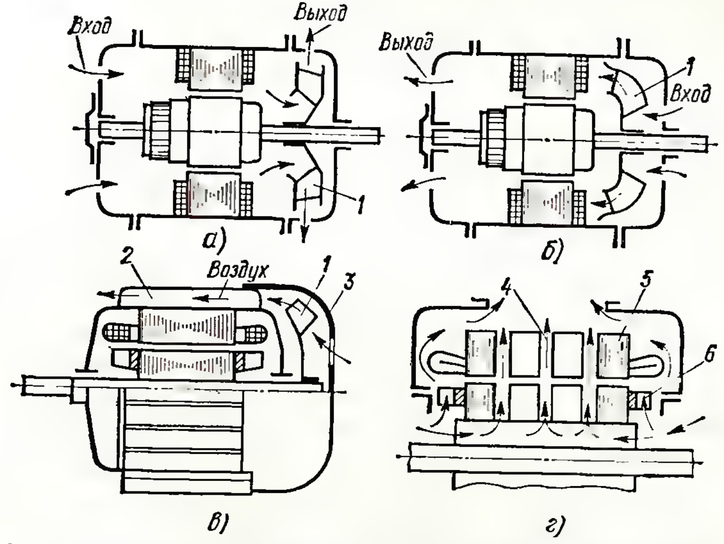


Рис. 14. Самовентилируемые машины с вытяжной (*а*), нагнетательной (*б*), обдувом наружной поверхности (*в*) и радиальной (*г*) вентиляцией

теплота от лобовых частей обмотки статора передается через воздух, находящийся внутри машины, затем через корпус. Теплосъем происходит лишь с наружной поверхности корпуса. Из-за ухудшения охлаждения тепловыделяющих частей закрытые машины имеют меньшую мощность по сравнению с открытыми при одинаковых размерах и массе. Их применяют в тех случаях, когда внутренняя полость машины должна быть защищена от попадания в нее пыли, влаги, грязи.

Закрытые машины большой мощности часто имеют независимую вентиляцию, при которой охлаждающий воздух прогоняется через машину вентилятором, установленным вне машины и приводимым во вращение отдельным электродвигателем. Частота вращения вентилятора в этом случае не зависит от частоты вращения охлаждаемой машины, поэтому независимую вентиляцию применяют в первую очередь для тихоходных машин, в которых скорость движения воздуха при самовентиляции оказывается недостаточной. Независимая вентиляция может быть протяжной или замкнутой. При протяжной вентиляции воздух поступает из окружающей среды и выбрасывается наружу. На входном отверстии устанавливают фильтр для очистки воздуха от пыли. В замкнутой системе воздух или другой охлаждающий машину газ не выбрасывается наружу, а циркулирует по замкнутому контуру, проходя через охладитель и опять поступая по трубам в машину.

В качестве охлаждающего газа в машинах мощностью более 20 000 кВт с замкнутой системой вентиляции применяют водород. Водородное охлаждение более интенсивно, чем воздушное, благодаря большей теплоемкости водорода. Снижаются также потери на вентиляцию, так как водород в 14 раз легче воздуха. Для охлаждения электрических машин используют также воду, масло и другие жидкости.

В крупных электрических машинах применяют непосредственное (внутреннее) охлаждение обмоток. Водород или вода проходят внутри полых проводников. Такой метод является наиболее эффективным. Водяное охлаждение обмоток статора применено, например, для гидрогенераторов Красноярской ГЭС, полное водяное охлаждение (вода охлаждает обмотки статора и ротора) использовано в гидрогенераторах Саяно-Шушенской ГЭС.

§ 15. Асинхронные двигатели

Большинство современных асинхронных двигателей выпускают в закрытом исполнении, благодаря чему их надежность повышается в 1,5—2 раза по сравнению с защищенными машинами. В единой серии 4А все двигатели с высотой оси вращения менее 160 мм выпускают в закрытом исполнении (условное обозначение степени защиты IP44).

Закрытые машины охлаждаются вентилятором *16* (рис. 15), установленным снаружи на конце вала *2* со стороны, противоположной приводу. Поток воздуха, создаваемый вентилятором, направляется кожухом *14* вдоль наружной поверхности станины *8*, на которой расположены ребра *22* для увеличения поверхности теплоотдачи. В нижней части станины ребра укорочены, что позволяет уменьшить высоту оси вращения. Кожух крепится к щиту двигателя винтами *13* и имеет в торцовой части отверстия, через которые вентилятором засасывается воздух.

Сердечник *10* статора для уменьшения потерь на вихревые токи набран из листов электротехнической стали и скрепляется в продольном направлении скобами или сварными швами. Сердечник в станине закреплен стопорными винтами *19*, которые препятствуют его провороту и перемещению в продольном направлении. Винты ввертываются в отверстия, просверленные и нарезанные после запрессовки сердечника в станину.

В пазы сердечника статора уложена обмотка *12*. В двигателях на напряжение до 660 В с высотой оси вращения 50—250 мм она выполняется из круглого обмоточного провода с эмалевой изоляцией, в более крупных — из прямоугольного, который позволяет

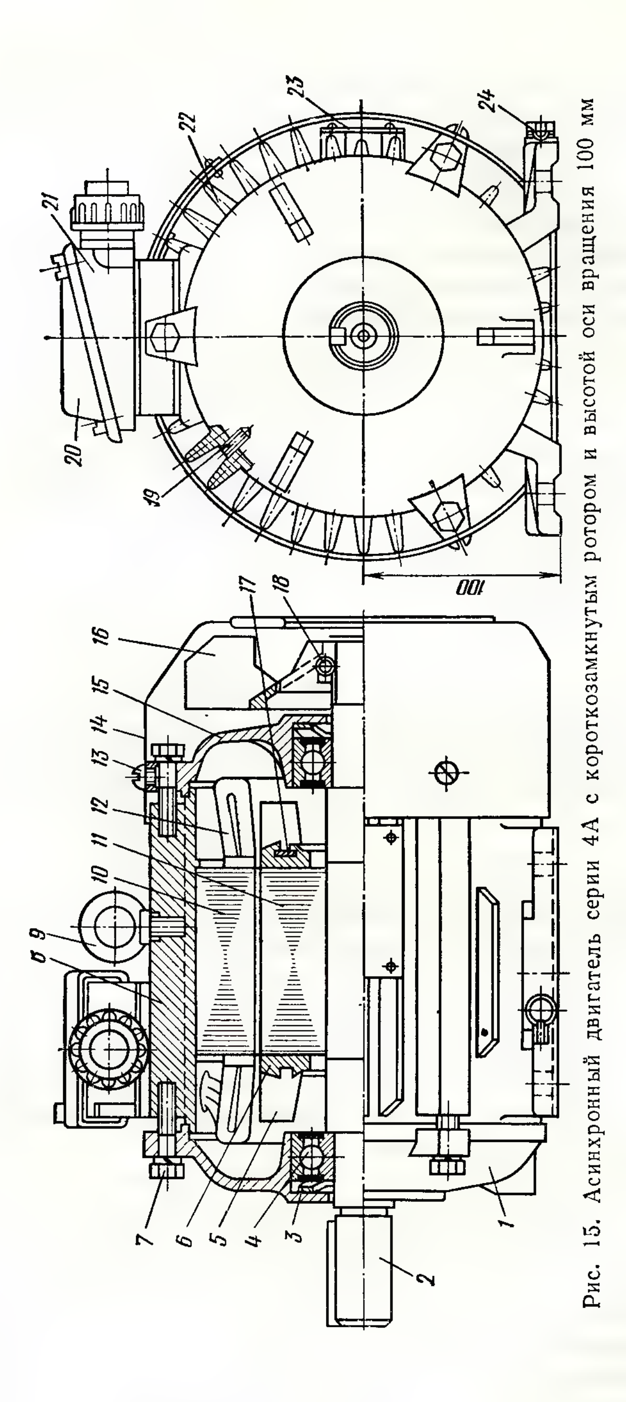


Рис. 15. Асинхронный двигатель серии 4А с короткозамкнутым ротором и высотой оси вращения 100 мм

плотнее без пустот уложить обмотку в пазы и увеличить мощность двигателя. Применение обмоток из круглого провода в двигателях меньшей мощности оправдывается возможностью механизации и автоматизации их изготовления и укладки в пазы, что позволяет значительно снизить трудоемкость производства машин. Пазовую изоляцию выполняют из прочной синтетической пленки, которая используется также и для междуфазовой изоляции в лобовых частях обмотки. В пазах обмотку закрепляют клиньями или клиньями-крышками, выполненными в виде желобков по форме верхней части паза.

Выводы от фаз обмотки выполняют гибкими многожильными изолированными проводами. На места паек в обмотке устанавливают изоляционные трубки. Выводы статора подсоединяют к колодке зажимов, которая располагается в коробке *21* с крышкой *20*. Коробка выводов расположена сверху двигателя и при установке может быть повернута в удобное для подсоединения питающего кабеля положение. В верхней части станины ввернут рым-болт *9* для подъема двигателя при монтаже и в процессе транспортировки.

Сердечник ротора *11* выполняется из той же стали, что и сердечник статора, и в спрессованном состоянии заливается расплавленным алюминием. Одновременно с заливкой пазов отливают замыкающие кольца *6* и вентиляционные лопатки *5*, которые прогоняют воздух через лобовые части обмотки статора. В результате происходит интенсивная передача теплоты от внутренних частей к наружной поверхности станины, которая обдувается вентилятором.

В замыкающих кольцах с обеих сторон сердечника расположены пазы для закрепления балансировочных грузиков *17*.

После заливки пазов алюминием сердечники короткозамкнутых роторов двигателей с высотой оси вращения до 250 мм напрессовывают на валы без шпонки с предварительным нагревом до 500—550 °С. В более крупных машинах применяют прессовую посадку со шпонкой. Вал выполняют преимущественно из стали 45, он имеет ступенчатую форму для раздельной посадки сердечника, подшипников, вентилятора.

В подшипниковых щитах *1*, *15*, которые крепятся к станине болтами *7*, имеются центральные отверстия для размещения подшипников качения *4*. В двигателях с высотой оси вращения до 132 мм применяют шарикоподшипники с двусторонним уплотнением. Смазка, рассчитанная на весь срок службы, закладывается в них при изготовлении подшипника. Такие подшипники упрощают конструкцию машин и не требуют пополнения смазки в эксплуатации, благодаря чему уменьшаются трудозатраты на обслуживание двигателя.

Между щитами и торцами наружных колец шарикоподшипников устанавливают пружины *3*, которые обычно выполняют в виде волнистого кольца, выштампованного из листовой стали. Перемещая наружное кольцо подшипника в осевом направлении, пружина выбирает зазор в подшипнике и прижимает с определенным усилием шарики к дорожкам качения. Такое поджатие уменьшает шум подшипника, который возникает в результате ударов шариков о до-

рожки при наличии зазора, и увеличивает его долговечность, так как удары способствуют усталостному разрушению металлических поверхностей.

Воздушный зазор в асинхронных двигателях небольшой. Так, например, в четырех-, шести- и восьмиполюсных двигателях при высотах оси вращения 56—90 мм он равен 0,25 мм. Чтобы выполнить его равномерным, при изготовлении двигателей принимают специальные меры. Центрирующие выступы на щитах и отверстия под подшипники обрабатывают на станке с одного установа, что позволяет получить минимальные биения между этими поверхностями. Таким же способом обеспечивают минимальные биения расточки статора относительно центрирующих заточек в станине.

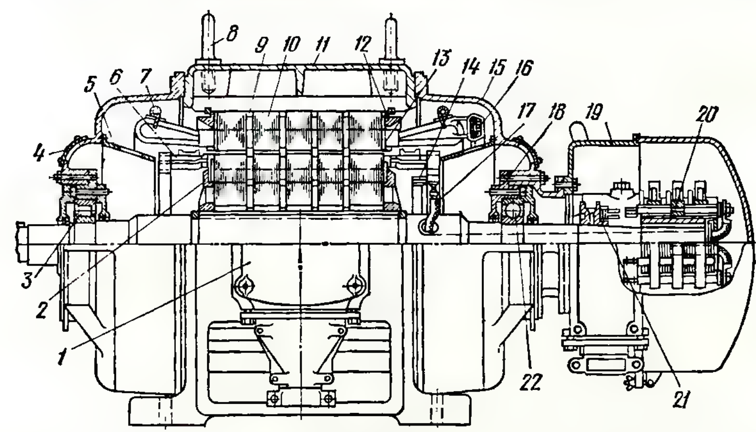


Рис. 16. Асинхронный двигатель мощностью выше 100 кВт с фазным ротором

В лапах станины выполняют отверстия с резьбой, в которые ввинчивают болты *24* для подсоединения заземляющих шин.

На станине укреплена табличка *23*, на которой указаны: тип двигателя, его заводской номер, товарный знак завода-изготовителя, мощность двигателя, частота вращения, номинальное напряжение, частота тока и число фаз, кпд, cos φ, год выпуска, масса машины и другие данные, необходимые потребителю.

Вентилятор *16* двигателя имеет продольную прорезь, которая позволяет обеспечить плотную посадку его на вал при затяжке болта *18*.

Устройство асинхронного двигателя с фазным ротором в защищенном исполнении со степенью защиты *IP*23 рассмотрим на примере двигателя старой серии, поперечный разрез которого приведен на рис. 16. В двигателях мощностью выше 100 кВт сердечники статора и ротора обычно выполняют из нескольких пакетов *10*, между которыми устанавливают распорки, образующие радиальные вентиляционные каналы *9*. В защищенной машине воздух засасывается в окна на торцах щитов *15* вращающейся обмоткой *6* ротора и распорками в радиальных каналах. Охлаждающий воздух

проходит через лобовые части обмотки статора и ротора, а также параллельными струями через радиальные вентиляционные каналы сердечников и выбрасывается из машины через окна в нижней части станины. К радиальным каналам воздух подходит по осевым отверстиям в сердечнике ротора. Для направления воздушных потоков к лобовым частям обмоток и радиальным каналам установлены диффузоры *5*.

Асинхронные двигатели с фазным ротором имеют в пазах ротора изолированную от сердечника обмотку *6*, число фаз которой равно числу фаз обмотки статора. Фазы трехфазной обмотки ротора соединяются звездой с помощью дугообразной медной шины *14* с тремя лучами или треугольником. Выводы от обмотки присоединяют к контактным кольцам *20*.

Контактные кольца могут быть расположены на консольном конце вала за подшипниковым щитом или внутри машины. При консольном расположении выводы *17* от обмотки ротора выполняют гибким изолированным проводом, проходящим через центральное отверстие вала. Контактные кольца располагают в коробке *19*, закрытой колпаком.

Расположение контактных колец на консоли позволяет унифицировать подшипниковые щиты двигателей с фазными и короткозамкнутыми роторами, облегчает доступ к контактным кольцам при техническом обслуживании, исключает попадание щеточной пыли на обмотки двигателя.

Обмотку ротора обычно выполняют из стержней, концы которых спаивают медными хомутиками. В некоторых машинах в часть хомутиков впаивают вентиляционные лопатки. Сердечник статора набирают из листов на ребра станины *11*, спрессовывают и закрепляют массивными нажимными шайбами *12*. На крайних листах сердечника устанавливают нажимные пальцы *13*, препятствующие распушению пакетов в зоне зубцов. Станину отливают из чугуна, она имеет два рым-болта *8* для транспортировки двигателя краном, сбоку к ней привернута коробка выводов *1*. Лобовые части обмотки статора при значительной длине для предохранения от деформаций привязывают шнуром к бандажным кольцам *7*. Междукатушечные соединения *16* обмотки также стягивают шнуром, образуя жесткое кольцо. Листы сердечника ротора на валу спрессованы между нажимными шайбами *2*.

Ротор вращается в двух подшипниках качения: шариковом *22* со стороны контактных колец и роликовом *3* со стороны привода, установленных в капсюлях *18*. Размеры обоих подшипников одинаковы, благодаря чему достигается унификация сборочных единиц. При разборке щиты *15* снимаются, подшипники остаются в капсюлях, которые защищают их от механических повреждений и загрязнений. Подшипниковые щиты центрируются на кольцевых выступах станины.

Двигатель может быть разобран без съема контактных колец с вала. Это достигается тем, что кольца могут свободно проходить через центральное отверстие щита *15* и коробки *19*.

В двигателях старых серий имеются приспособления для подъема щеток и замыкания колец накоротко после пуска. Кольца замыкаются втулкой *21* с тремя пружинными контактами, которая перемещается вдоль вала. Двигатели единых серий изготовляют с постоянно налегающими щетками. Это упрощает конструкцию, повышает надежность и позволяет использовать машины в схемах с дистанционным управлением.

Воздушный зазор в асинхронных двигателях определяет многие его характеристики. Увеличение зазора ухудшает один из основных показателей двигателя — коэффициент мощности cos φ, который зависит от тока холостого хода. Поэтому в некоторых двигателях предусматривается возможность контроля воздушного зазора в собранной машине. Его измеряют через отверстия в щитах и диффузорах. На щитах отверстия закрываются крышками *4*.

В современных сериях электрических машин отверстия для замера зазора обычно отсутствуют, его стабильная величина обеспечивается строгим соблюдением технологического процесса изготовления составляющих сборочных единиц и деталей (щитов, станин, сердечников, капсюлей, роторов).

Асинхронные двигатели единой серии 4А с высотой оси вращения 280—355 мм имеют корпус *1* (рис. 17), выполненный в виде сварной полустанины, состоящей из четырех вертикальных стоек *21*, *31*, соединенных в нижней части продольными планками *30* с отверстиями под фундаментные болты, а в верхней — двумя продольными ребрами *32* из толстолистовой стали. Стойки имеют кольцевые заточки. На заточках наружных стоек *31* центрируются подшипниковые щиты *10*, на внутренних *21* — сердечник *15* статора с обмоткой.

Сверху двигатель закрывается кожухом *13*, который крепят к продольным ребрам корпуса болтами *20* и к торцовым стенкам щитов болтами *11*. Сердечник статора набирают из листов на оправку, спрессовывают между двумя нажимными шайбами *14*, которые имеют заточки для центрирования сердечника в станине, и приваривают к горизонтальным планкам *23* и *28*. Сердечник с обмоткой *16* устанавливают в станину сверху на заточках стоек *21* и закрепляют болтами *27*, *33* через отверстия в горизонтальных планках *28*. Такая конструкция уменьшает массу станины, упрощает ее изготовление и облегчает ремонт обмотки с выемкой сердечника из станины. Лапами станины являются планки *30*. Подъемные крюки выполнены в виде вырезов на продольных ребрах *32*.

Подшипниковые щиты, центрированные на кольцевых заточках, крепят к полустанине болтами *3* и *19*. Подшипники устанавливают в крышках-капсюлях *5* и *18*, которые крепят к щитам болтами *8* и *17*. Внутренние крышки *12* притягивают к капсюлям болтами *22*. На валу подшипники в продольном направлении закреплены пружинными кольцами. К щитам крепятся жалюзи *9*, через которые охлаждающий воздух поступает в машину. Применение крышек-капсюлей позволяет производить безударную установку подшипников.

Для выемки ротора при ремонте сначала вывинчивают болты *22*, *8* и *17*. Крышки-капсюли выводят из щитов отжимными болтами. Затем отвинчивают болты *3*, *19* и снимают щиты с корпуса. Ротор вывешивают подъемным устройством и выводят из статора.

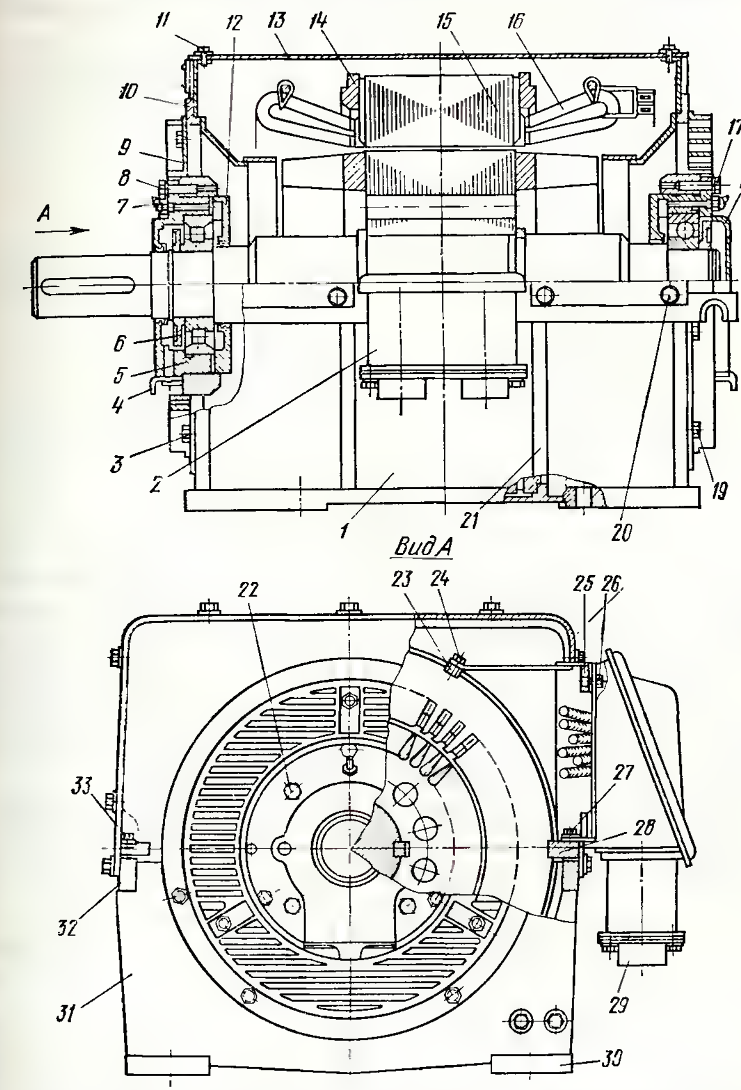


Рис. 17. Асинхронный двигатель серии с короткозамкнутым ротором 4АН280

Коробку выводов *2* крепят болтами *26* к рамке *25*, которую, в свою очередь, крепят к планкам сердечника болтами *24* и *27*. Коробка имеет фланец *29* для присоединения газовой трубы, гибкого металлорукава и кабеля или провода в оболочке из резины или пластиков.

В двигателе предусматривается возможность добавления или частичной замены отработанной смазки без его останова. Смазка подается через масленки *7* и выходит внизу крышек-капсюлей через отверстия, закрытые заслонками *4*. Смазочный диск *6* при вращении облегчает прохождение смазки через подшипник.

Двигатель имеет защищенное исполнение. Охлаждающий воздух затягивается вентиляционными лопатками литой обмотки ротора через жалюзи и выбрасывается в нижней части станины.

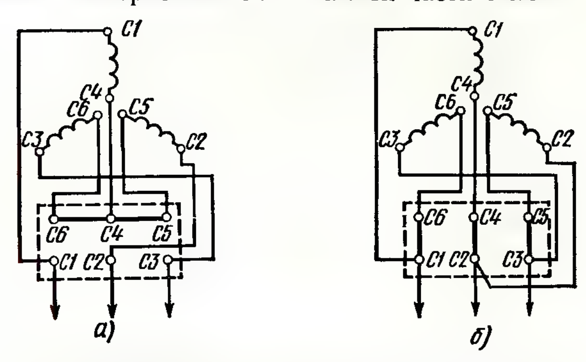


Рис. 18. Зажимы статорных трехфазных обмоток:
а — соединение звездой, *б* — соединение треугольником

Колодку зажимов у двигателей с высотами оси вращения 80—200 мм располагают в коробке сверху, что обеспечивает возможность подвода питающего кабеля с правой или левой стороны машины. У двигателей с высотами оси вращения более 200 мм коробка обычно располагается сбоку станины, в результате чего удобно подсоединять кабель большого сечения (не приходится тянуть его вверх), и устанавливается по требованию потребителя при изготовлении двигателя на заводе с правой или левой стороны.

Якорные обмотки машин переменного тока в большинстве случаев располагают на статоре, поэтому их выводы обозначают буквой С. Начала 1, 2 и 3-й фаз трехфазной обмотки обозначают соответственно С1, С2, С3, концы фаз при открытой схеме — С4, С5, С6. Обычно зажимы трехфазной машины располагают на колодке так, что соединение звездой достигается при горизонтальном расположении перемычек (рис. 18, *а*) и соединение треугольником — при их вертикальном расположении (рис. 18, *б*).

Современные трехфазные двигатели мощностью от 15 до 400 кВт изготовляют, как правило, с открытой схемой, у которой выводятся наружу начала и концы фаз. Это позволяет применять их на два номинальных напряжения и контролировать изоляцию между фазами в собранной машине при испытаниях и в эксплуатации. В некоторых машинах обмотки статора соединены звездой или треугольником наглухо и на колодку зажимов выводятся три (С1, С2, С3 — начала фаз) или четыре вывода. К четвертому зажиму присоединяют вывод от нулевой точки при соединении фаз звездой, которая обозначается 0.

Выводы фаз обмоток многоскоростных асинхронных двигателей обозначаются дополнительно впереди букв цифрами, указывающими число полюсов данной обмотки, например 4С1, 4С2, 4С3.

Выводы обмоток роторов асинхронных двигателей обозначают буквой Р: Р1 — начало первой, Р2 — начало второй, Р3 — начало третьей фазы. При четырех контактных кольцах нулевая точка обозначается 0. Контактные кольца обозначаются так же, как и выводы присоединяемых к ним фаз: Р1 — наиболее удаленное от обмотки кольцо, за ним Р2 и т. д. Сами кольца обычно не маркируются.

Выводы статорных обмоток однофазных синхронных машин обозначаются: С1 — начало, С2 — конец обмотки. У асинхронных однофазных двигателей выводы статорных обмоток обозначают следующим образом: С1 — начало главной обмотки, С2 — ее конец; В1 — начало вспомогательной обмотки, В2 — ее конец. Обмотки возбуждения (индукторов) синхронных машин обозначают: И1 — начало, И2 — конец.

Маркировку выводов наносят на колодку зажимов рядом с зажимами или непосредственно на выводы обмоток: на кабельные наконечники, шины, на специальные обжимы, плотно закрепляемые на проводах. В малых машинах, где из-за недостатка места буквы и цифры разместить трудно, выводные концы обозначаются разноцветными проводами.

В трехфазных асинхронных машинах начала 1, 2 и 3-й фаз обозначаются соответственно желтым, зеленым и красным цветами. Концы фаз при открытой схеме обозначаются теми же цветами, что и начала, но с добавлением черного цвета. Нулевая точка при соединении фаз в звезду обозначается черным цветом. Выводы обмотки, соединенной треугольником, обозначаются тем же цветом, что и начала фаз в открытой схеме.

В однофазных асинхронных машинах начало главной обмотки обозначается красным цветом, начало вспомогательной — синим, а концы — тем же цветом, что и начала, но с добавлением черного цвета. При трех выводах общая точка обозначается черным цветом.

§ 16. Машины постоянного тока

Статор в машине постоянного тока состоит из станины *12* (рис. 19), главных *24* и добавочных *26* полюсов с обмотками. В машинах малой мощности добавочные полюса могут отсутствовать. Ротор (якорь) состоит из вала *22*, сердечника *14* с обмоткой *10* и коллектора *9*.

Станина *12* является корпусом машины и в то же время частью магнитной системы, проводящей магнитные потоки главных и добавочных полюсов. Она имеет цилиндрическую форму и изготовляется из стальной трубы, к нижней части которой приваривают лапы *29* В верхней части корпуса ввинчивается рым-болт или привариваются проушины *25* для транспортировки машины, с торцов выполнены

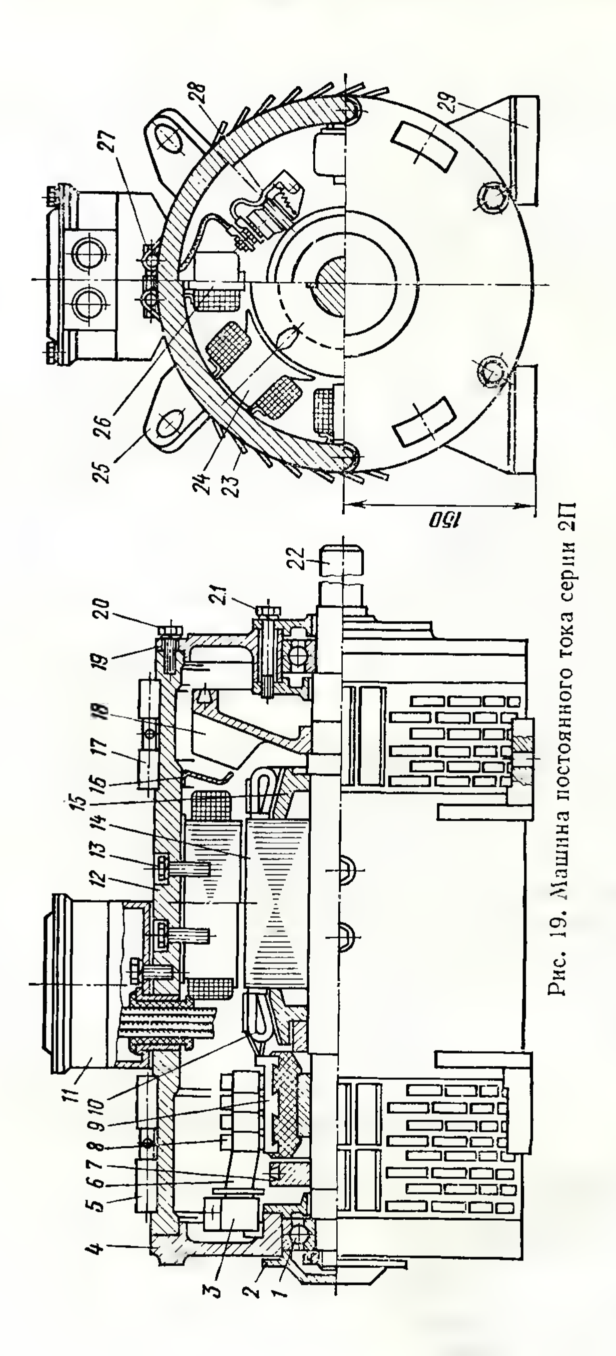


Рис. 19. Машина постоянного тока серии 2П

центрирующие заточки для подшипниковых щитов *4* и *19*, которые крепятся винтами *20*.

Добавочные полюса *26* предназначены для улучшения коммутации (уменьшения искрения под щетками) и изготовляются цельными или шихтованными из листов. Катушки обмотки полюсов выполняют из проводов круглого или прямоугольного сечения. Главные и добавочные полюса крепят к станине болтами *13*.

Сердечник якоря набирается из листов электротехнической стали толщиной 0,5 мм на вал. Нажимные шайбы *15* служат одновременно опорами для лобовых частей обмотки *10*, на которые наложен бандаж. Концы секций обмотки присоединены к коллекторным пластинам. Коллектор *9* состоит из медных пластин, изолированных друг от друга прокладками из миканита. Подшипники с обеих сторон закрыты крышками.

На переднем щите *4* закреплена щеточная траверса *3* с бракетами *6*, на которых установлены щеткодержатели *28* со щетками *8*. Для осмотра коллектора и доступа к щеткам в машине имеются люки, которые закрываются крышками или защитными лентами *5*, *17* с отверстиями. Концы лент обертываются вокруг валиков и стягиваются на корпусе винтами *27*.

В верхней части отверстия выполнены в виде жалюзи *23* для защиты машины от падающих сверху и под углом к вертикали капель.

Выводы от якорной обмотки и обмотки возбуждения главных полюсов пропущены через отверстия в станине и подсоединены к колодке зажимов, расположенной в коробке *11*.

Подшипниковые опоры машины постоянного тока аналогичны опорам асинхронных машин. У двигателей постоянного тока с высотами оси вращения 80—200 мм обычно со стороны привода и с противоположной стороны устанавливают шариковые подшипники *1*, у двигателей с высотами 225—315 мм со стороны привода — роликовые, а с противоположной — шариковые подшипники. Подшипниковые крышки *2* крепятся болтами *21*, которые проходят через сквозные отверстия в щитах и ввинчиваются в резьбовые отверстия во внутренних крышках. Болты контрятся пружинными шайбами.

Токосъемное устройство машин постоянного тока включает в себя щетки *8*, щеткодержатели *28*, бракеты *6*, к которым крепятся щеткодержатели, и траверсу *3*, несущую на себе бракеты. У двигателей с высотами оси вращения 355—500 мм траверса может отсутствовать. Бракеты в таких машинах крепятся непосредственно к подшипниковому щиту. Щетки прижимаются к коллектору *9* пружинами.

Машина имеет защищенное исполнение и аксиальную систему вентиляции. Охлаждающий воздух засасывается в машину вентилятором *18* через окна в ленте *5* со стороны коллектора и выбрасывается через окна ленты *17* со стороны привода. Установкой диффузора *16* достигают рационального распределения воздушных потоков При его отсутствии большая часть воздуха проходила бы между полюсами вблизи станины. Диффузор направляет поток к поверхности якоря машины.

Балансировка ротора производится установкой грузиков в виде ласточкина хвоста в кольцо *7* со стороны коллектора и в канавку на вентиляторе *18*. У малых машин балансировка может осуществляться удалением металла путем сверления отверстий в вентиляторе и коллекторе.

В машинах постоянного тока при работе по обмотке якоря проходит ток, который создает свое магнитное поле. Поле якоря накладывается на поле главных полюсов и искажает его, магнитная индукция у краев полюсов становится неодинаковой. Из-за различной эдс в секциях обмотки якоря ухудшается коммутация машины

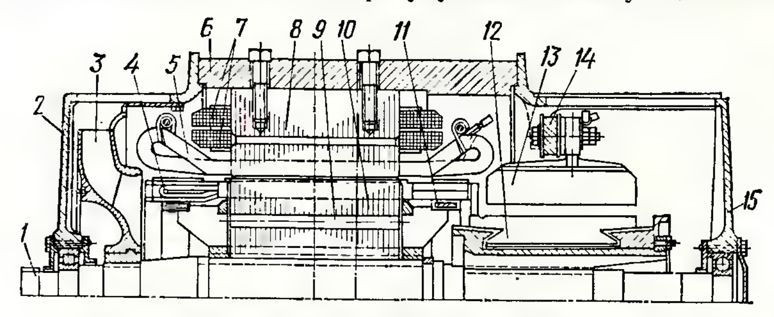


Рис. 20. Машина постоянного тока с компенсационной обмоткой

и увеличивается напряжение между некоторыми коллекторными пластинами, что может привести к пробою изоляции пластин. Для компенсации реакции якоря в машинах постоянного тока значительной мощности применяют компенсационную обмотку *5* (рис. 20). Ее располагают в пазах наконечников главных полюсов *8* и соединяют последовательно с обмоткой якоря *4*. Компенсационную обмотку рассчитывают и включают таким образом, чтобы ее магнитное поле было равно и направлено встречно полю якоря. Компенсационная обмотка усложняет изготовление и ремонт машины, поэтому ее применяют обычно в крупных машинах и постоянного тока.

Бракеты *13* в машинах большой мощности выполняют в виде плоских пластин с приливами, через отверстия в которых они винтами крепятся к траверсе *14*. Винты изолируют гетинаксовыми трубками и прокладками, так как к траверсе крепятся бракеты разной полярности. Траверса согнута из полосовой стали в виде кольца и закреплена на подшипниковом щите.

Обмотка возбуждения *7* разделена на каждом полюсе на две катушки, между которыми образован вентиляционный канал.

Сердечник *10* якоря выполнен с аксиальными вентиляционными каналами *9*. Каналы для охлаждающего воздуха предусмотрены также между коллектором *12* и валом *1*. Вентилятор *3* установлен со стороны привода. Щиты *2* и *15* центрируются в заточках корпуса *6*. Лобовые части обмотки якоря *4* опираются на изолированный обмоткодержатель *11*.

В машинах постоянного тока выведенные наружу концы обмоток маркируют буквами: Я — обмотка якоря, К — компенсационная

обмотка, Д — обмотка добавочных полюсов, С — последовательная обмотка возбуждения, Ш — параллельная обмотка возбуждения, П — пусковая обмотка, У — уравнительный провод и уравнительная обмотка. К буквенным обозначениям добавляются цифры: 1 — начало обмотки, 2 — конец обмотки; например, Я1 — начало обмотки якоря, Я2 — ее конец.

В малых коллекторных машинах постоянного и переменного тока выводы (начала обмоток) маркируют следующими цветами: белым — обмотка якоря, красным — обмотка последовательного возбуждения, зеленым — обмотка параллельного возбуждения. На концах обмоток добавляется черный цвет.

§ 17. Сердечники

Сердечники электрических машин, по которым проходит переменный магнитный поток, собирают (шихтуют) из изолированных друг от друга листов электротехнической стали толщиной 0,5 мм. Этим достигается значительное снижение потерь от вихревых токов.

Сердечники статоров и роторов машин переменного тока и якорей машин постоянного тока при наружном диаметре до 990 мм

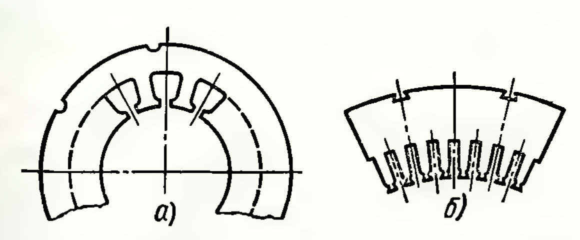


Рис. 21. Лист сердечника в виде кольца (*а*) и сегмента (*б*)

выполняют из листов в виде колец (рис. 21, *а*), а при большем диаметре — из сегментов (рис. 21, *б*), которые при сборке образуют магнитную систему кольцевой формы. В кольцах и сегментах выштампованы пазы под обмотку. В сегментах, кроме того, имеются пазы для крепления их к станине или на ободе ротора.

Тонколистовую электротехническую сталь изготовляют в виде рулонов, листов и ленты. Обозначения марок стали в соответствии с ГОСТ 214270—75 состоят из четырех цифр.

Первая цифра обозначает класс по структурному состоянию и виду прокатки: 1 — горячекатаная изотропная; 2 — холоднокатаная изотропная; 3 — холоднокатаная анизотропная. В анизотропных сталях магнитные свойства вдоль прокатки и в направлении, перпендикулярном прокатке,— различные.

Вторая цифра обозначает содержание кремния в данной марке стали. Добавка этого элемента увеличивает электрическое сопротивление стали и улучшает ее магнитные свойства. По содержанию кремния стали подразделяют на шесть групп: 0 — с содержанием крем-

ния до 0,4% (нелегированная); 1 — от 0,4 до 0,8; 2 — от 0,8 до 1,8; 3— от 1,8 до 2,8; 4 — от 2,8 до 3,8; 5 — от 3,8 до 4,8%.

Третья цифра в обозначении марки характеризует удельные потери и магнитные индукции, четвертая — порядковый номер типа стали.

В асинхронных двигателях единых серий А-АО и А2—АО2 была применена горячекатаная листовая сталь марки 1211, в двигателях серии 4А при высотах до 160 мм применяется холоднокатаная рулонная сталь 2013, а при высотах выше 160 мм — 2212. Стали, примененные в новой серии, имеют индукции на 4—8% большие при том же намагничивающем токе и на 20—30% меньшие удельные потери.

Рис. 22. Статорный сердечник, скрепленный скобами (*а*) и набранный в станину (*б*)

Изоляцию листов выполняют в виде лаковой или оксидной пленки. Лаковая пленка наносится на листы специальными машинами. Оксидная пленка имеет незначительную толщину и образуется на листах путем выдержки их в камере при температуре 560°С с подачей водяного пара.

Сердечники статоров машин переменного тока мощностью до 100 кВт опрессовывают между нажимными шайбами *1* (рис. 22, *а*) и скрепляют скобами *2* по спинке. Зубцы, не имея опоры, могут на торцах отгибаться. Размер l_1 по ним может быть больше размера l по спинке на 1—2 мм и более в зависимости от высоты зубца. Это явление называется *распушением* или *веером зубцов*. Изоляция обмоток может быть нарушена из-за перемещения листов при недостаточной прессовке или распушении сердечника.

Распушение уменьшают установкой с торцов сердечника крайних утолщенных или сваренных друг с другом точечной сваркой или склеенных листов. Монолитный сердечник получают склейкой всех его листов.

Сердечники статоров микромашин и малых машин в спрессованном состоянии заливают алюминиевым сплавом. Заливка частично захватывает торцы сердечника, благодаря чему он оказывается закрепленным в алюминиевой оболочке, которая является одновременно и корпусом машины.

Сердечники статоров с наружным диаметром более 400—500 мм шихтуют непосредственно в станину. Посадку обычно осуществляют на ребра *7* (рис. 22, *б*) станины *6*. Сердечник спрессовывают между двумя массивными нажимными шайбами *1*, которые закрепляют в корпусе в осевом направлении шпонками *3*. Шпонки приваривают, чтобы предохранить их от выпадания, к станине или шайбам. Давление при спрессовке сердечника передается через нажимные пальцы *4*, которые крепят к крайним листам точечной сваркой или расклепкой специальных выступов на них, входящих в отверстия зубцов крайних листов. Нажимные пальцы ликвидируют веер зубцов.

Сердечники статоров крупных машин для лучшего охлаждения изготовляют из нескольких пакетов *8*, разделенных вентиляционными каналами. Каналы образуются установкой дистанционных распорок *5* — ветрениц, которые по конструкции аналогичны нажимным пальцам. Распорки крепят к крайним листам пакетов сваркой или расклепкой.

Сердечники роторов *4* (рис. 23, *а*) при наружном диаметре до 300—400 мм насаживают непосредственно на вал *1*. Для передачи вращающего момента на валу в месте посадки сердечника устанавливают шпонку *5*. В машинах малой мощности вместо шпонки применяют накатку. Сердечники спрессовывают между нажимными шайбами *3*. С одной стороны ротора шайба упирается в буртик вала,

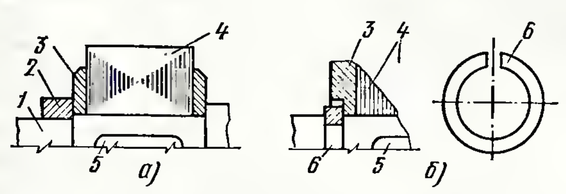


Рис. 23. Крепление сердечника на валу втулкой (*а*) и пружинным кольцом (*б*)

с другой — фиксируется в осевом направлении втулкой *2*, насаженной по прессовой посадке, или пружинным стопорным кольцом *6* (рис. 23, *б*), устанавливаемым в канавку на валу. Нажимная шайба имеет выточку на глубину 3—4 мм, которая предохраняет кольцо от разгибания под действием центробежных сил. Пружинные кольца могут быть установлены с обеих сторон сердечника.

В якорях машин постоянного тока и фазных роторах асинхронных двигателей нажимные шайбы совмещаются с обмоткодержателями, которые выполняются в виде кольцевых приливов на шайбе и служат для опоры лобовых частей. При коротких и жестких лобовых частях в тихоходных машинах обмоткодержатели не предусматривают.

Сердечники роторов при наружном диаметре от 300—400 мм до 900 мм насаживают обычно на промежуточную втулку с отверстиями или ребрами для уменьшения массы. Втулку напрессовывают на вал.

Главные полюса машин постоянного тока пронизываются постоянным магнитным потоком. Потери у них возникают только на внутренней поверхности наконечников, обращенной к воздушному зазору, вследствие пульсаций магнитного потока при поочередном прохождении под участком наконечника зубцов и пазов. Полюса для уменьшения потерь набирают из листов толщиной 1—2 мм. При бо́льших толщинах затрудняется штамповка листов и увеличиваются поверхностные потери, при меньших толщинах увеличиваются

затраты труда вследствие увеличения количества листов, а также уменьшается коэффициент заполнения сердечника сталью.

Листы полюсов *2* скрепляют заклепками *3* (рис. 24, *а*). Для получения монолитного полюса крайние листы *1* делают из более толстой стали. Полюса к корпусу крепят болтами, которые ввертывают в резьбовые отверстия, нарезанные в теле сердечника.

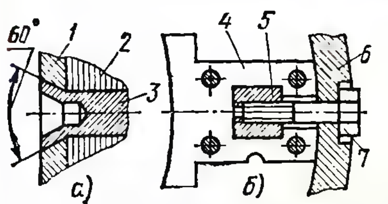


Рис. 24. Крепление листов сердечника полюса заклепками (*а*) и стержнем (*б*)

Заклепки, стягивающие полюса, имеют отверстия на концах и развальцовываются в конические зенковки в крайних листах, выполняемые обычно с углом 60°.

В крупных тяжелых полюсах скрепление листов с помощью одних только заклепок оказывается недостаточным: полюс деформируется при подтягивании его к станине. В этом случае в сердечник *4* запрессовывают стальной стержень *5* (рис. 24, *б*) с резьбовыми отверстиями для крепления полюса к корпусу *6* болтами *7*.

У одного и того же листа статора или ротора угол между осями пазов и сами размеры пазов получаются неодинаковыми. Это происходит потому, что при изготовлении штампов всегда неизбежны погрешности. Стенки пазов получаются неровными. Чтобы уменьшить эти неровности, сердечники собирают из листов, вырубленных одним и тем же штампом и расположенных в таком же положении, в каком они штамповались.

Для выполнения этого условия листы изготовляют с шихтовочными знаками в виде скругленных выемок (см. рис. 21, *а*). У статорных листов знаки располагаются на наружной поверхности, у роторных — на внутренней. Обычно на листе выполняют два знака с таким расчетом, чтобы при смещении или перевертывании листов они не совпадали. Полюсные листы для обеспечения гладкой поверхности и плотного прилегания к станине также выполняют с шихтовочным знаком (см. рис. 24, *б*).

§ 18. Подшипники качения

Подшипники качения нашли широкое применение в электрических машинах. Они меньше изнашиваются, чем подшипники скольжения, что особенно важно для машин с малым воздушным зазором, имеют меньшие потери на трение, могут значительное время работать без замены смазки.

В зависимости от воспринимаемой нагрузки подшипники качения подразделяют на радиальные, упорные и радиально-упорные. Радиальные подшипники в основном воспринимают силу, направленную перпендикулярно оси вращения (радиальное усилие). Они могут выдерживать также и небольшие осевые нагрузки, что позволяет использовать их для фиксации ротора от осевых перемеще-

ний. Упорные подшипники воспринимают только осевую нагрузку и применяются в основном в машинах с вертикальным валом.

По форме тел качения различают шариковые (рис. 25, *а*) и роликовые (рис. 25, *б*) подшипники. Подшипник качения состоит из двух колец: наружного *2* и внутреннего *3*. Между ними размещены тела качения: шарики *1* или ролики *5*. Для их равномерного размещения по окружности служит сепаратор *4*. На кольца со стороны, соприкасающейся с шариками или роликами, расположены дорожки качения, выполненные в виде кольцевых углублений или поясков.

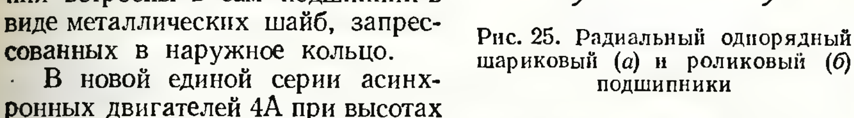


Рис. 25. Радиальный однорядный шариковый (*а*) и роликовый (*б*) подшипники

В малых электрических машинах применяют подшипники закрытого типа с одной (рис. 26, *а*) или двумя (рис. 26, *б*) защитными шайбами. Для их установки не требуется в машине специальных уплотняющих устройств для удержания смазки, так как уплотнения встроены в сам подшипник в виде металлических шайб, запрессованных в наружное кольцо.

В новой единой серии асинхронных двигателей 4А при высотах оси вращения до 132 мм используют шарикоподшипники с двусторонним уплотнением (тип 180000), которые надежно герметизируют их внутреннюю полость, предотвращая испарения жидкой фазы смазки. Такие подшипники могут надежно работать без замены смазки до 12 000 ч.

Шариковые подшипники обычно изготовляют со штампованным сепаратором из листового материала. Штампованный сепаратор *4* (см. рис. 25, *а*) состоит из двух змейковых полусепараторов, которые соединены между собой заклепками (рис. 26, *а*), электросваркой или загнутыми усиками (рис. 26, *б*). Роликовые подшипники изготовляют с массивными клепаными или целиковыми сепараторами.

В электрических машинах применяют подшипники с короткими цилиндрическими роликами и двумя бортами на внутреннем (рис. 25, *б*) или наружном кольце, а также с двумя бортами на наружном кольце и одним на внутреннем. Подшипники с бортами на наружном и внутреннем кольцах могут воспринимать не только радиальные, но и осевые нагрузки.

Роликовые подшипники, как правило, могут быть разобраны: кольцо, не имеющее бортов или имеющее только один борт, может быть снято с подшипника. Роликовые подшипники благодаря разборной конструкции более удобны для монтажа, но более чувствительные к перекосам оси вала относительно гнезд в щитах, чем шариковые подшипники.

У подшипников при одних и тех же внутренних диаметрах могут быть различны наружный диаметр и ширина, которые определяют серию подшипника и его грузоподъемность. Различают легкую, среднюю и тяжелую серии.

В малых машинах в обеих опорах устанавливают шариковые подшипники. Роликовые подшипники благодаря большей контактной поверхности между роликами и дорожками качения могут воспринимать большие радиальные нагрузки, чем шариковые тех же размеров. Поэтому их обычно применяют в подшипниковых опорах со стороны привода в машинах мощностью в десятки и сотни киловатт.

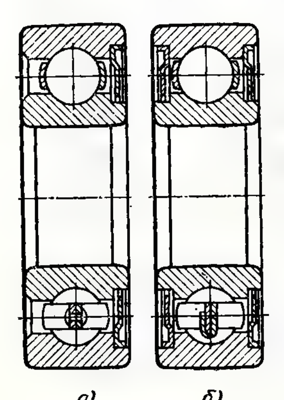


Рис. 26. Шарикоподшипники закрытого типа с одной (*а* — тип 60000) и двумя защитными шайбами (*б* — тип 80 000)

ГОСТ 520—71 на подшипники качения предусматривает пять классов точности подшипников (табл. 6).

Условное обозначение подшипника наносится в виде маркировки обычно на торце одного из колец и состоит из ряда цифр. Первая и вторая цифры справа обозначают условный диаметр вала; умножая их на 5 (при диаметре вала выше 20 мм), получаем его размер в миллиметрах. Третья цифра определяет серию подшипника, четвертая — тип, пятая и шестая — конструктивные особенности, седьмая цифра после дефиса обозначает класс точности подшипника. Кроме того, справа от цифровой маркировки могут находиться буквы с цифрами, которые обозначают материал деталей подшипника, марку смазки, требования к шуму, издаваемому подшипником, и т. д. Так, например, маркировка 310 обозначает шариковый радиальный однорядный подшипник средней серии 300 с внутренним диаметром 50 мм нулевого класса точности (цифра 0 в обозначении не ставится). Более сложное обозначение 6-180604С9Ш1 соответствует шариковому однорядному подшипнику шестого класса точности с двусторонним уплотнением широкой серии, внутренним диаметром 20 мм, смазкой марки ЛЗ-31 и требованиями к шуму Ш1.

В малых электрических машинах и микромашинах, где нагрузки невелики, применяют шариковые однорядные радиальные подшипники.

Таблица 6. **Классы точности подшипников**

Точность	Обозначение класса		Точность	Обозначение класса	
	новое	старое		новое	старое
Нормальная	0	Н и П	Прецизионная	4	С
Повышенная	6	ВП, В и АВ	Сверхпрецизионная	2	Т и СТ
Высокая	5	А и СА			

Наружное кольцо одного из подшипников *6* (рис. 27, *а*) обычно зажимают в щите *5* между фланцами *4* и *7*. Поскольку внутреннее кольцо имеет неподвижную посадку и прижато к борту вала, этот подшипник определяет положение ротора относительно статора машины в осевом направлении. Такая подшипниковая опора называется *фиксированной*. Второй подшипник *2* устанавливается в «плавающей» опоре, обеспечивающей его свободное перемещение в щите в осевом направлении. Чтобы избежать заклинивания подшипников, зазоры *а* должны быть больше суммы допусков на осевые размеры корпусных деталей и вала с учетом изменения длины вала и корпуса при нагревании. В машинах с фиксированной опорой осевой разбег ротора определяется осевой игрой шарикоподшипника и равен десятым долям миллиметра. При унификации щитов и фланцев зазоры в плавающей опоре выдерживают с помощью дистанционных шайб *1* и *3*.

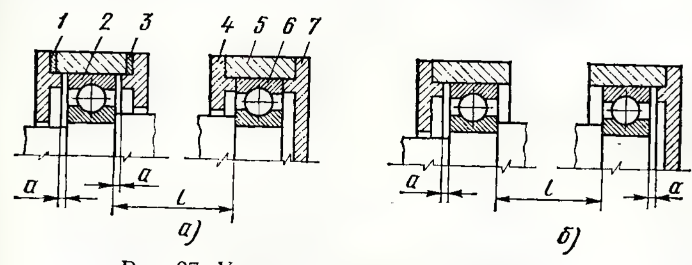


Рис. 27. Установка шарикоподшипников:
а — с фиксированной опорой, *б* — враспор; *l* — расстояние между подшипниками, *а* — зазор между фланцем и подшипником

С целью упрощения конструкции в малых машинах применяется также установка шарикоподшипников враспор (рис. 27, *б*). Внутренние фланцы в таких машинах обычно отсутствуют. Чтобы избежать заклинивания подшипников, с обеих сторон оставляют зазоры *а*. Осевой разбег ротора при такой конструкции определяется зазорами.

В машинах мощностью в сотни киловатт опора со стороны привода, особенно при ременных передачах, нагружена так, что грузоподъемности шарикового подшипника недостаточно. В этих случаях устанавливают роликовый подшипник. Наружные кольца закрепляют в осевом направлении у обоих подшипников. Плавающей опорой служит роликовый подшипник, у которого тела качения могут перемещаться вдоль машины по кольцу, не имеющему бортов. При больших нагрузках на обе опоры устанавливают роликовые подшипники с обеих сторон машины. Для фиксированной опоры выбирают роликовый подшипник с бортами на наружном и внутреннем кольцах.

Для нормальной работы подшипников качения необходим определенный рабочий зазор, чтобы обеспечить свободное перекатывание шариков и роликов. Повышенный зазор нарушает точность вращения ротора. Ось ротора при работе машины может произвольно

изменять свое положение на радиальный зазор подшипника δ (рис. 28, *а*), что приводит к ударам тел качения о беговые дорожки колец и повышенному износу подшипника.

Чтобы исключить вредное влияние завышенных зазоров, в электрических машинах применяют шариковые подшипники с предварительным осевым нагружением (предварительным натягом). В плавающей опоре между фланцем *3* (рис. 28, *б*) и торцом наружного кольца *2* подшипника устанавливают пружины *4*, которые перемещают наружное кольцо *2* и через шарики весь ротор в сторону второго подшипника *1*.

Рис. 28. Положение колец и шариков без предварительного натяга (*а*) и с предварительным натягом (*б*)

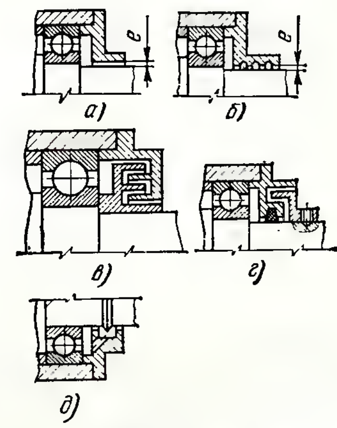


Рис. 29. Уплотнения подшипников:

а — с кольцевым зазором, *б* — с жировыми канавками, *в* — лабиринтное, *г* — комбинированное, *д* — с маслоотражательным кольцом

Правильно выбранное усилие предварительного натяга обеспечивает более спокойную работу подшипника, прижимая все шарики к беговым дорожкам и повышает его долговечность. Чрезмерный натяг, создавая значительную нагрузку на подшипник, уменьшает его долговечность. Поэтому при ремонте машины осевое усилие, действующее на подшипник, должно быть сохранено. Обычно применяют пружины в виде волнистых колец, вырубленных из листа, которые занимают немного места по длине машины. Такие пружины устанавливают между торцом фланца и наружным кольцом подшипника. Для регулировки усилия пружины предусматривают дистанционные шайбы.

Подшипник в щите монтируется обычно по свободной посадке, которая не препятствует проворачиванию его наружного кольца. Медленное проворачивание кольца (один оборот за несколько минут) допустимо и даже полезно, так как при этом радиальная нагрузка, передающаяся через тела качения, действует поочередно

на различные точки дорожки наружного кольца. Однако медленное вращение практически трудно осуществимо; кольцо, установленное по посадке без натяга, вращается с большей частотой. Это приводит к выработке гнезда в щите и преждевременному выходу из строя подшипника. Поэтому нельзя допускать ослабления посадки подшипников в гнезда щита.

Проворачивание внутреннего кольца подшипника на шейке вала исключается посадкой его с натягом. Кольцо плотно обжимает вал, и возникающие при этом силы трения между поверхностями надежно его стопорят.

Подшипниковые опоры снабжают специальными устройствами — уплотнениями, которые защищают подшипник от попадания в него снаружи пыли, грязи и влаги, а также препятствуют вытеканию смазки.

В машинах нашли широкое применение уплотняющие устройства с кольцевым (рис. 29, *а*) зазором *e* и кольцевыми (жировыми) канавками (рис. 29, *б*). В условиях загрязненной среды более надежны лабиринтные уплотнения (рис. 29, *в*). Фетровые уплотнения применяют при небольших окружных скоростях на шейке вала, не превышающих 5 м/с для шлифованных шеек и 8 м/с для полированных. При повышенных скоростях возрастает температура за счет трения фетрового кольца о вал. Кольцо при нагреве затвердевает, вследствие чего резко увеличивается его износ и снижается эффективность уплотнения. В необходимых случаях устанавливают комбинированные уплотнения. Так, например, фетровые кольца применяют совместно с лабиринтными (рис. 29, *г*). Для предотвращения утечки жидкой смазки широко используют маслоотражательные кольца (рис. 29, *д*). Отброшенное кольцом масло накапливается в кольцевой проточке и сливается в подшипник.

§ 19. Подшипники скольжения

Подшипники скольжения по расположению подразделяют на две группы: щитовые (вмонтированные в щиты); вынесенные (стояковые). В большинстве случаев подшипники скольжения применяют для крупных машин и закрепляют на стояках. Щитовые подшипники встречаются в старых типах машин малой и средней мощности. Подшипники скольжения могут быть легко выполнены разъемными, что облегчает сборку крупных машин.

Большим преимуществом подшипников скольжения является бесшумность. Поэтому в современных микродвигателях их применяют в тех случаях, когда предъявляют высокие требования к уровню шума, например в двигателях для аппаратов магнитной записи.

В подшипниках скольжения шейка вала или цапфа *1* (рис. 30, *а*) охватывается втулкой (вкладышем). В щитовых подшипниках вкладыш обычно изготовляют цельным, в стояковых — разъемным, состоящим из двух половин — верхней *4* и нижней *2* с разъемом по горизонтальной плоскости. Для нормальной работы между цапфой и

вкладышем должен быть определенный зазор δ, зависящий от диаметра цапфы, частоты вращения и нагрузки на подшипник.

Уменьшение трения между цапфой и вкладышем достигается созданием таких условий, при которых соприкасающиеся поверхности оказываются разделенными слоем смазки, т. е. работой в режиме жидкостного трения. Существуют два способа создания жидкостного трения: гидродинамический и гидростатический.

При гидродинамическом способе разделительный слой смазки образуется при вращении вала. Невращающаяся цапфа *1* соприкасается с поверхностью вкладыша. При трогании с места между ними возникает полусухое трение. С ростом частоты вращения масло *3* за счет вязкости затягивается в клиновой зазор между валом и вкладышем. В результате сжатия в смазочном слое возникает повышенное давление, которое приподнимает вал (рис. 30, *б*). Создается гидродинамическая поддерживающая сила, которая возрастает пропорционально вязкости масла и частоте вращения и уменьшается с увеличением зазора.

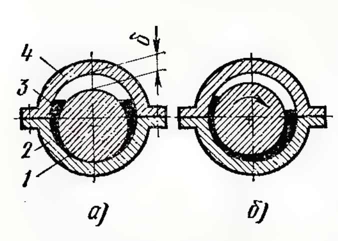


Рис. 30. Положение вала в подшипнике скольжения в покое (*а*) и при вращении (*б*)

В гидростатических подшипниках масляный слой между трущимися поверхностями создается подводом масла под давлением от насоса в нижнюю точку, где цапфа соприкасается с вкладышем. Гидростатический способ позволяет уменьшить износ рабочих поверхностей в процессе пуска и останова машины. При определенном давлении и количестве подаваемого масла ротор поднимается и поддерживается масляной пленкой независимо от частоты вращения.

В стояковом подшипнике вкладыш *4* (рис. 31) устанавливают в специальное гнездо в верхней части чугунного стояка. Для удобства монтажа ротора машины вкладыш выполняется разъемным по горизонтальной плоскости. Верхняя его половина прижимается к нижней крышкой *3* с помощью болтов *5*, ввинчиваемых в корпус стояка. Поверхность вкладыша, прилегающую к валу, заливают антифрикционным сплавом — баббитом. Вкладыш имеет кольцевой поясок *9* со сферической поверхностью, центр которой расположен на оси вала, благодаря чему вкладыш при перекосах свободно поворачивается вместе с шейкой вала. Такие подшипники называются *самоустанавливающимися*. Винт *7* стопорит вкладыш от поворота, входя в паз, расположенный в верхней его половине.

Масло заливают в камеру *10*. Для наблюдения за его уровнем на стояке установлен маслоуказатель *2* со стеклянной трубкой, на которой имеются отметки верхнего и нижнего уровней. Слив масла производится через отверстие, закрытое резьбовой пробкой *1* с уплотнительной прокладкой. Подшипник крепится к фундаментной плите болтами, проходящими через отверстия *11*. После окончательной сборки машины в отверстия *12* устанавливают конические штифты, фиксирующие положение стояка на плите. В плите предварительно просверливают отверстия, которые развертывают на конус вместе с отверстиями *12*.

Масло к поверхностям трения подшипника подается кольцами *6*, входящими в прорези на верхней половине вкладыша. В собранной машине кольца свободно лежат на шейке вала, нижние их части

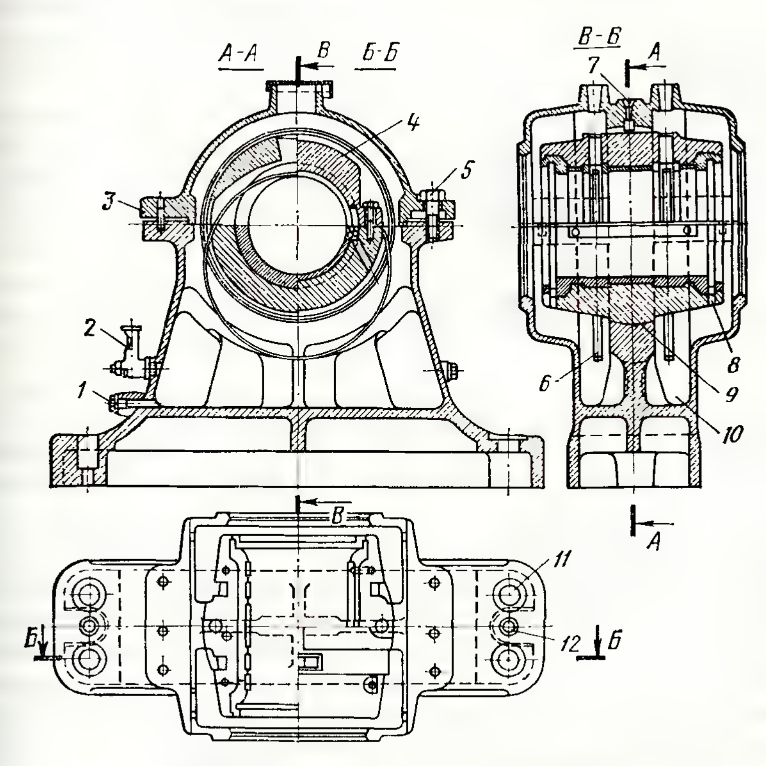


Рис. 31. Стояковый подшипник скольжения

погружены в масло. При работе масло подается в прорези вращающимися кольцами и, растекаясь по продольным маслораспределяющим канавкам, попадает на внутренние поверхности вкладыша. Канавки не имеют выхода на торцовую поверхность вкладыша, чтобы не происходило выливания масла из рабочей зоны. С обеих сторон вкладыша расположены маслоулавливающие кольцевые проточки с дренажными отверстиями *8* для стока масла в камеру стояка. Для обеспечения свободного вращения кольца прорезь делают примерно в 1,5 раза шире кольца и такой глубины, чтобы кольцо ложилось на шейку вала.

Смазочные кольца при разъемных вкладышах делают составными для удобства сборки машины. Кольцо погружают в масло примерно на 0,2—0,25 его диаметра. Уменьшение уровня масла в процессе эксплуатации до известных пределов не влияет на его подачу

в подшипник. В машинах постоянного тока кольца изготовляют из бронзы или латуни, так как стальные кольца могут намагнититься.

В некоторых случаях применяется дисковая подача смазки с помощью колец или дисков, устанавливаемых на вал по неподвижной посадке. Диск купается нижним краем в масле и при вращении подает его в верхнюю часть подшипника, где оно снимается специальными скребками и по каналам подается к поверхностям трения.

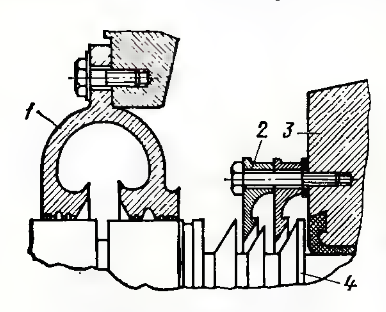


Рис. 32. Уплотнение подшипника скольжения

В высокооборотных машинах применяют циркуляционную смазку. При этом способе масло подается к трущимся поверхностям насосом под давлением. В реверсивных машинах масло подается в верхнюю точку вкладыша, в нереверсивных — в горизонтальную щель с таким расчетом, чтобы оно увлекалось при вращении в верхнюю половину вкладыша.

Существуют также и комбинированные способы смазки. Например, при циркуляционной смазке устанавливают дополнительно маслоподающие кольца. В крупных сильно нагруженных подшипниках применяют водяное охлаждение. Вода циркулирует по трубкам, залитым в толщу баббита.

Маслоулавливающие канавки на вкладыше не могут полностью исключить вытекание масла по валу из подшипника. Поэтому подшипники снабжают уплотняющими устройствами, прикрепляя, например, к торцовой поверхности вкладышей *3* (рис. 32) маслоотбойные кольца *2*. На валу вытачивают канавки по форме колец и бортов *4*. Масляная пленка, распространяющаяся вдоль вала по цапфе, не может перейти через борт, так как центробежные силы отбрасывают ее на больший диаметр. Брызги масла задерживаются кольцами *2*, затем стекают в масляную камеру подшипника. В быстроходных машинах и машинах с циркуляционной смазкой подшипников в месте выхода вала из стояка ставится вторая ступень уплотнения — лабиринт *1*. Щитовые подшипники скольжения обычно уплотняют фетровыми кольцами, установленными в канавки, проточенные в щите (месте выхода вала из подшипника).

§ 20. Токосъемные устройства

Основной элемент токосъемного устройства — щетка — устанавливается в щеткодержателе и соприкасается с коллектором или контактными кольцами, являясь неподвижной частью скользящего контакта. С помощью щеток осуществляется электрическая связь между вращающимися обмотками ротора и неподвижными токопроводящими частями машины.

Щеткодержатели закрепляют на щеточных пальцах или бракетах. В электрических машинах постоянного тока пальцы (или бракеты) устанавливают на кольцевой поворотной траверсе, которая служит для одновременного перемещения всех щеток по окружности коллектора при установке их в нейтральное положение.

Щетки изготовляют прессованием из смеси токопроводящих порошков и связующих веществ. Главными требованиями, предъявляемыми к ним, являются малое электросопротивление и способность хорошо пришлифовываться к коллектору или кольцам во время работы. Основным сырьем для щеток служат графит, кокс и сажа. В состав вещества щеток некоторых марок для увеличения электропроводности добавляется порошок меди. Добавление свинца и олова делает щетки более мягкими и менее склонными к вибрациям и распылению.

В зависимости от материалов и способа изготовления различают следующие марки щеток: угольно-графитные (Г20, Г21, Г22), графитные (Г3, 611М, 611ОМ), электрографитированные (ЭГ2А, ЭГ2АФ, ЭГ4, ЭГ8, ЭГ14 и др.), металлографитные (М1, М3, М6, М20, МГ, МГ2 и др.).

Щетка имеет один или два медных гибких токопроводящих провода, к концам которых припаяны кабельные наконечники для присоединения к щеткодержателю или бракету. В микромашинах токоотвод иногда осуществляется через пружину, которая прижимает щетку к коллектору.

Выбор марки щетки для конкретных условий определяется многими факторами: мощностью и напряжением машины, характером нагрузки (спокойная или толчкообразная), наличием механических сотрясений, частотой вращения и т. д. Во многих случаях марку щетки подбирают опытным путем, чтобы обеспечить хорошую без искрения работу скользящего щеточного контакта. Поэтому заменять марку щетки при ремонте можно только тогда, когда это рекомендовано заводом-изготовителем машины.

Нормальная работа скользящего контакта обеспечивается только при определенном усилии прижатия щетки, которое рассчитывается по площади ее контакта и давлению, рекомендованному стандартом (ГОСТ 2332—75).

При плотном контакте не происходит искрения под щеткой, которое может привести к обгоранию поверхности коллектора или контактных колец. Однако следует иметь в виду, что завышенное нажатие щеток повышает их износ, а также потери трения, износ и нагрев коллектора и контактных колец.

Щетка электрической машины устанавливается в окне щеткодержателя. Обойма *1* (рис. 33, *а*) охватывает и направляет ее. Контакт щетки с коллектором или контактным кольцом обеспечивает нажимное устройство, состоящее из пружины *6* и рычажка *4*.

В быстроходных крупных машинах постоянного тока кроме основной устанавливается амортизирующая пружина *3*, которую изолируют от щетки фарфоровым изолятором *2*. Щеткодержатель к бракету или плоскому пальцу крепится болтами за коробочку *7*

через продольный паз 8, который позволяет перемещать щеткодержатель по направлению к коллектору. Для крепления на круглом пальце щеткодержатели изготовляют с хомутиками.

По мере износа щетки длина пружины 6 уменьшается. Это приводит к уменьшению ее усилия. В современных конструкциях точку приложения усилия от пружины к рычажку 4 располагают таким образом, что по мере износа щетки увеличивается плечо *l* силы относительно оси 5, благодаря чему давление на щетку не изменяется.

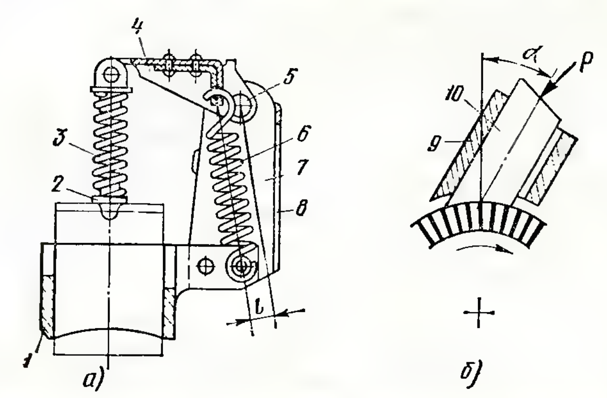


Рис. 33. Радиальный (*а*) и реактивный (*б*) щеткодержатели

Щеткодержатель, показанный на рис. 33, *а*, называется радиальным. Ось щетки, располагающейся в нем, совпадает с продолжением радиуса коллектора. Такие щеткодержатели обычно применяют в реверсивных * машинах.

В нереверсивных машинах применяют также и наклонные щеткодержатели, у которых ось щетки образует некоторый угол с продолжением радиуса коллектора: реактивные (рис. 33, *б*) с осью щетки, наклоненной в направлении вращения, и волочащиеся. В наклонных щеткодержателях щетка 10 благодаря скосу верхней грани, который определяет направление усилия *P* от нажимного устройства, постоянно прижимается к стенке 9 обоймы. Этим обеспечивается ее неизменное (торцовое) положение в щеткодержателе и надежный контакт с коллектором. В радиальном щеткодержателе под действием силы трения о коллектор щетка перекашивается в пределах зазора, занимая диагональное положение, упираясь в нижнюю кромку одной из стенок обоймы и в верхнюю кромку противоположной стенки. Значительный перекос щетки затрудняет ее перемещение в обойме и ухудшает контакт.

Момент, вызывающий перекос щетки, зависит от силы трения и расстояния нижней кромки обоймы от поверхности коллектора. Большой момент сильнее прижимает щетку к стенке, затрудняя ее перемещение, и ухудшает контакт с коллектором. Поэтому удалять

* Реверсивными называют машины, работающие при двух направлениях вращения.

на значительное расстояние щеткодержатель от коллектора нельзя. Минимальное расстояние диктуется электрической прочностью промежутка и зависит от напряжения и размеров машины.

Перекос щетки может возникнуть и от неправильного направления усилия от нажимного устройства в результате искажения формы пружин или рычажков, передающих усилие на щетку.

Для контактных колец машин переменного тока применяют щеткодержатели зажимного типа (рис. 34). Щетка 8 зажимается в корпусе 5 щеткодержателя винтом 7 и прижимается к кольцу пружиной 10. Щеткодержатели зажимного типа выполняют обычно сдвоенными — к одному пальцу 1 квадратного сечения с помощью скобы 4 и хомута 3 крепятся два корпуса 5, устанавливаемые на осях 9.

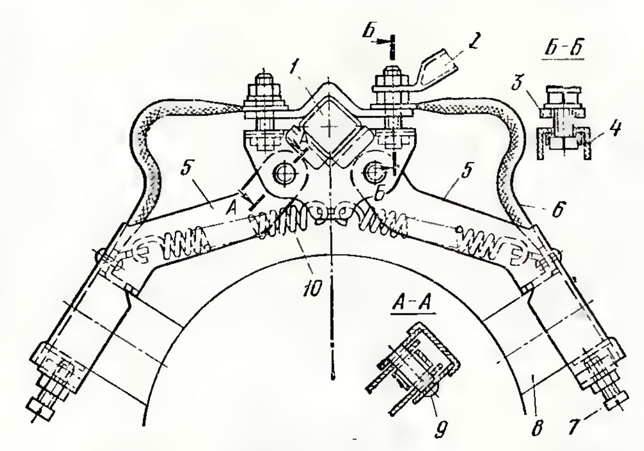


Рис. 34. Щеткодержатель для контактных колец

Токоотвод от щеток осуществляется гибким проводом 6, внешняя цепь присоединяется кабельным наконечником 2. В этой конструкции нажатие при износе щетки практически остается неизменным, так как с уменьшением длины пружины возрастает плечо — длина перпендикуляра, опущенного из центра оси вращения 9 на ось пружины.

В малых машинах применяют щеткодержатели, в которых пружина давит непосредственно на щетку без промежуточного рычага. Второй конец пружины упирается в колпачок, навинчиваемый на щеткодержатель.

Пальцы щеткодержателей выполняют в виде круглых стержней или призматическими (прямоугольного сечения). Круглые (цилиндрические) пальцы изготовляют из стали или латуни, вставляют одним концом в отверстие (ушко) траверсы и закрепляют гайкой или винтом. В машинах постоянного тока палец является токопроводящей деталью, поэтому его оставляют голым. От траверсы пальцы изолируют миканитовыми втулками и шайбами или опрессовкой конца стержня пластмассой.

Призматические пальцы изготовляют из стальной полосы, один конец которой опрессовывают пластмассой, или из полосы гетинакса *1* (рис. 35) или текстолита. Призматические пальцы дешевле в производстве, чем цилиндрические. Кроме того, они упрощают конструкцию щеткодержателя, так как на них не нужно устанавливать хомутов. Щеткодержатели к ним крепятся винтами через отверстия.

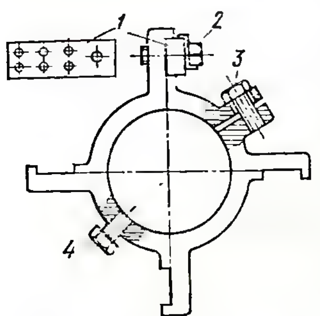


Рис. 35. Траверса малой машины

Щеточная траверса в малых машинах обычно имеет форму звезды с числом лучей, равным числу полюсов. В траверсе предусматривают прорезь, которая позволяет ее стянуть винтом *3* для закрепления на посадочном месте. Надежная фиксация от проворота осуществляется стопорным винтом *4*. Пальцы к траверсе крепят винтами *2* со стопорными шайбами.

В асинхронных двигателях применяют щеткодержатели зажимного типа и с направляющим гнездом под щетку. Щеткодержатели с зажимом щетки используют в двигателях небольшой мощности, когда по допускаемой плотности тока достаточно одной щетки на кольцо. Для надежности обычно ставят две щетки, применяя сдвоенный щеткодержатель. Щеткодержатель с направляющей обоймой занимает мало места по окружности кольца, что позволяет в средних и крупных машинах разместить нужное число щеток.

§ 21. Коллекторы

В электрических машинах обычно применяют цилиндрические коллекторы, собранные из медных пластин *5* (рис. 36, *а*) клинообразного сечения, изолированных друг от друга прокладками *12*. В пластинах с торцов выполняют выточки, которые придают им форму «ласточкина хвоста». Пластины от втулки *10* и нажимного кольца *3* изолируют манжетами *8*, выполненными в виде колец конусной формы, и цилиндром *7*.

Выточки должны быть такого размера, чтобы наружные поверхности манжет отделялись от пластин зазором *6*. Благодаря этому конусные выступы на втулке и кольце при сближении их с помощью гайки *1* сжимают за «ласточкин хвост» пластины и прижимают их и прокладки друг к другу боковыми сторонами. Такое крепление пластин называется арочным.

В верхней части пластины со стороны якорной обмотки расположены петушки *9*, которые представляют собой выступы с прорезями *11* для вкладывания проводников обмотки. В средних и крупных машинах, в которых диаметр коллектора намного меньше диаметра якоря, для удобства соединения обмотки *14* (рис. 35, *б*) с коллектором и экономии коллекторной меди в пластины *5* впаивают ленточные петушки *13*.

Коллектор является одной из наиболее сложных и трудоемких частей электрической машины. Набор пластин и изоляционных прокладок должен быть прочно закреплен. Наружная (рабочая) поверхность коллектора, по которой скользят щетки, должна иметь строго

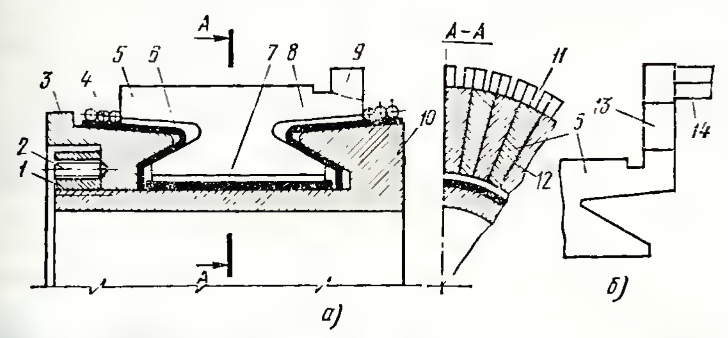


Рис. 36. Коллектор с креплением нажимными кольцами и арочным распором (*а*) и пластина с ленточным петушком (*б*)

цилиндрическую форму. Коллекторные пластины должны быть надежно изолированы друг от друга и других металлических деталей коллектора. Пыль и влага не должны проникать во внутренние полости коллектора, недоступные для осмотра и чистки. Поэтому в коллекторах с арочным распором на манжеты накладывают бандаж *4*, закрывающий зазор *6*. Бандаж предохраняет также выступающую часть манжеты от расслаивания. Контровка гайки коллектора осуществляется винтом *2* или другим способом.

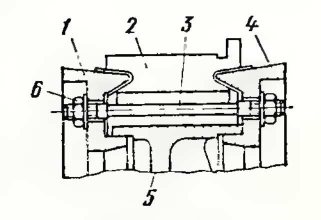


Рис. 37. Коллектор со стяжными шпильками:

1, 4 — нажимные кольца, *2* — коллекторная пластина, *3* — шпилька, *5* — ступица, *6* — гайка

Медь имеет больший коэффициент линейного расширения при нагреве ($\alpha_м = 17 \cdot 10^{-6}$ град$^{-1}$), чем сталь ($\alpha_c = 12 \cdot 10^{-6}$ град$^{-1}$). Кроме того, температура коллекторных пластин выше, чем температура стальной втулки, так как пластины нагреваются трением о них щеток и проходящим по ним током. Это приводит к тому, что в рабочем состоянии пластины удлиняются больше, чем втулка.

Температурные деформации могут привести к бочкообразному выгибу коллекторных пластин и нарушению контакта щетки с коллектором. Деформации особенно значительны в крупных коллекторах с большой длиной пластин. Поэтому в таких коллекторах «ласточкин хвост» стягивают с помощью податливых элементов: шпилек *3* (рис. 37) или гайкой через упругое пружинящее кольцо.

При удлинении пластин относительно тонкие шпильки растягиваются. Такая конструкция помогает сохранить цилиндричность рабочей поверхности коллектора. Шпильки рассчитывают таким

образом, чтобы их деформация при удлинении происходила в пределах упругости материала. Появление в них остаточных деформаций при нагреве может привести к ослаблению коллектора при его остывании.

В быстроходных машинах при значительной длине коллектора центробежные силы, действующие на пластины, настолько велики, что могут вызвать продавливание манжет, а сами пластины прогнутся. В таких машинах применяют коллекторы с бандажными кольцами *4* (рис. 38), в которых комплект из медных *8* и изоляционных пластин насаживают на конусную втулку *5*, изолированную миканитом *6*. Кольца от пластин также изолируют миканитом *7*. Втулка с натягом насажена на вал *1* только со стороны петушков, чтобы вал

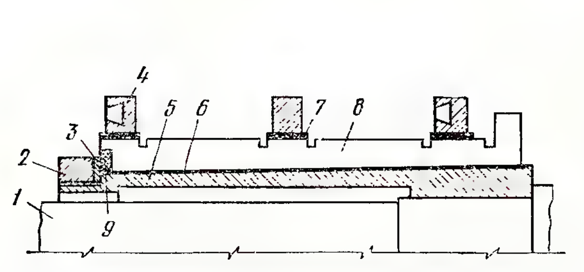


Рис. 38. Коллектор с бандажными кольцами

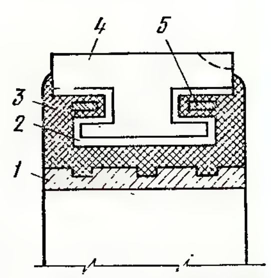


Рис. 39. Коллектор на пластмассе

не препятствовал удлинению коллектора при нагреве. В осевом направлении пластины на втулке закрепляют гайкой *2*, давление от которой передается через металлическую *3* и изоляционную *9* шайбы. В крайних бандажных кольцах протачивают канавки в виде «ласточкина хвоста» для размещения балансировочных грузиков.

В малых и средних машинах применяют коллекторы на пластмассе. В таких коллекторах во внутреннее отверстие цилиндра из медных и изоляционных пластин впрессовывается пластмасса *3* (рис. 39), которая охватывает крепежные выступы пластин *4*. Пластмасса в такой конструкции удерживает пластины при работе машины. Поэтому для коллекторов применяют пластмассы высокой прочности. В случае необходимости пластмассовый корпус упрочняют стальными кольцами *5*. Чтобы кольца не вызывали замыкания между пластинами, изоляционные прокладки *2* делают таких размеров, при которых они выступали бы за контур медных пластин внутри корпуса. Для повышения надежности посадки на вал в пластмассе корпуса располагают втулку *1*. Применение пластмассы упрощает конструкцию и удешевляет изготовление коллектора.

В электрических машинах наряду с цилиндрическими иногда применяют дисковые коллекторы, у которых пластины располагают на торцовой поверхности диска.

§ 22. Контактные кольца

Контактные кольца применяют в синхронных и асинхронных машинах с фазным ротором и располагают их на валу. К кольцам присоединяют обмотку ротора. У синхронных машин устанавливают два кольца, у асинхронных — обычно три. К контактным кольцам синхронных машин через неподвижные щетки подсоединяют источник питания обмотки индуктора, а асинхронных — пусковой или регулировочный реостат.

Широкое распространение получили контактные кольца с посадкой на втулку. Различают кольца с холодной и горячей прессовкой.

Контактные кольца с холодной прессовкой на втулку применяют в асинхронных двигателях мощностью до 100 кВт. Чугунную

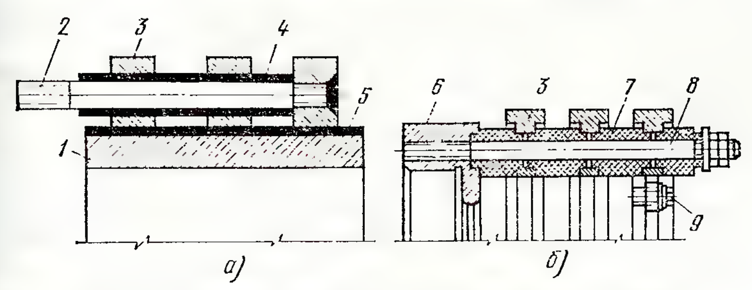


Рис. 40. Контактные кольца на втулке (*а*) и без нее (*б*)

или стальную втулку обертывают несколькими слоями изоляционного материала, после чего на нее насаживают по прессовой посадке кольца. Кольца с холодной посадкой менее трудоемки в изготовлении и значительно дешевле колец с горячей прессовкой, но менее надежны, так как из-за усыхания изоляции может ослабнуть посадка колец на втулке.

Более надежны кольца с горячей прессовкой. Их изготовляют с высококачественной слюдяной изоляцией — формовочным миканитом. Втулку обертывают несколькими слоями миканита, который плотно прижимают хомутом к ее поверхности и запекают в печи. Образуется монолитная изоляция *5* (рис. 40, *а*), надежно приклеенная к поверхности втулки *1*. Изолированную втулку обрабатывают резцом на токарном станке, выдерживая точный диаметр для обеспечения прессовой посадки. Кольца *3* насаживают в горячем состоянии. При остывании они плотно охватывают изолированную втулку.

Выводы от обмотки ротора присоединяют к токопроводящим шпилькам *2*, которые ввертывают в резьбовые отверстия колец и изолируют трубочками *4* из миканита или текстолита. Концы шпилек приваривают к кольцам для обеспечения надежного электрического контакта.

В последнее время широкое распространение получили контактные кольца без втулки. В этой конструкции фланец *6* (рис. 40, *б*) закрепляется на конце вала ротора. К нему с помощью шпилек *8*

притягиваются кольца *3*, между которыми устанавливают изоляционные пластмассовые втулки *7*. Выводы от обмотки ротора присоединяют болтами *9*, ввинчиваемыми в резьбовые отверстия, расположенные в приливах с внутренней стороны колец. Кольца без втулки хорошо охлаждаются, так как воздух может проходить между ними. Уменьшается также возможность пробоя между соседними кольцами, так как пыль, которая может служить причиной перекрытия, не накапливается в промежутках между кольцами.

В малых машинах применяют также кольца, опрессованные пластмассой.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные части электрической машины и расскажите об их назначении и устройстве.
2. Расскажите об охлаждении электрических машин. Какими преимуществами и недостатками обладают закрытые двигатели?
3. Расскажите о сериях электрических машин и условных обозначениях типов электродвигателей.
4. Опишите устройство сердечников электрических машин.
5. Как устроены подшипники качения? Какие меры в конструкции электрических машин принимают для обеспечения их долговечности?
6. Опишите устройство подшипников скольжения и системы их смазки.
7. Расскажите о маркировке выводов электрических машин.
8. Как устроены коллектор, контактные кольца и токосъемное устройство электрической машины?

ГЛАВА IV

ОРГАНИЗАЦИЯ РЕМОНТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

§ 23. Система планово-предупредительного ремонта

Система планово-предупредительного ремонта (система ППР) представляет собой комплекс работ, проводимых по заранее составленному плану для предупреждения неожиданного выхода машины из строя. Основной задачей системы ППР является удлинение межремонтного срока службы машин, снижение расходов на их ремонт и повышение его качества. Система ППР включает техническое (межремонтное) обслуживание, текущий и капитальный ремонты. В ряде отраслей промышленности наряду с текущим и капитальным выполняется также средний ремонт, который включает в себя ряд работ из текущего и капитального ремонтов.

Основой системы ППР, определяющей трудовые и материальные затраты на ремонт, является ремонтный цикл и его структура. *Ремонтный цикл* — это продолжительность работы машин, исчисляемая годами между двумя капитальными ремонтами. Для новых машин ремонтный цикл исчисляется с момента ввода их в эксплуатацию до первого капитального ремонта.

Структурой ремонтного цикла называется порядок расположения и чередования различных видов ремонтов и осмотров в пределах одного ремонтного цикла. Время работы машины, выраженное в месяцах календарного времени между двумя плановыми ремонтами, называется *межремонтным периодом*. Чем реже будет ремонтироваться машина, тем ниже будут затраты на ремонт. Однако ремонтный цикл и его структура должны быть такими, чтобы была обеспечена надежная работа данного вида машины при заданных условиях эксплуатации.

Техническое обслуживание включает в себя в основном работы профилактического характера: наблюдение за машиной, выполнение правил эксплуатации, своевременную регулировку машин и устранение мелких неисправностей. Межремонтное обслуживание производится преимущественно без простоя машины (в обеденные перерывы, между рабочими сменами, во время переналадок агрегатов и т. д.). При техническом обслуживании производят подтяжку контактов, креплений, смену щеток, чистку доступных частей машины (наружных поверхностей, коллекторов, контактных колец) и др.

В период между плановыми ремонтами производят осмотры машин по специальному графику. При осмотре выявляют дефекты, которые должны быть немедленно устранены, и дефекты, подлежащие устранению при ближайшем плановом ремонте. По результатам осмотра заполняют карту, в которой указывают температуру корпуса, сердечников, обмоток, подшипников, вибрации, степень искрения щеток, выработку коллектора и контактных колец, загрязненность обмоток маслом и пылью. Если обнаруженная неисправность может вызвать аварию или травмы персонала, машину немедленно останавливают.

Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей предписывают немедленный аварийный останов электрической машины при появлении дыма или огня из машины или пускорегулирующей аппаратуры, несчастном случае, сильной вибрации, угрожающей целостности машины, поломке приводимого механизма, недопустимо сильном перегреве подшипников, заметном снижении частоты вращения, сопровождаемом быстрым нагревом машины.

Текущий ремонт обычно проводят на месте установки — без демонтажа машины с фундамента. Капитальный ремонт, как правило, выполняют в электроремонтном цехе или на специализированном ремонтном предприятии.

В типовой объем текущего ремонта включается проведение операций технического обслуживания, разборка машины, промывка и проверка состояния подшипников. Подшипники качения заменяют новыми, если радиальный зазор у них превышает максимально допустимый. У подшипников скольжения проверяют работу смазочных колец. Статорные и роторные обмотки, коллекторы, вентиляционные каналы продувают сжатым воздухом. Проверяют состояние обмоток и надежность крепления их лобовых частей. Местные повреждения изоляции и дефекты крепления устраняют, при необходимости обмотки сушат и покрывают их лобовые части эмалью.

Проверяют и подтягивают места крепления (крепление к фундаменту, салазкам, крепление шкивов, муфт и т. п.). Поврежденные крепежные детали заменяют новыми. Производят зачистку, проточку и шлифовку контактных колец и коллекторов, регулировку щеткодержателей и ряд других работ. После ремонта машину собирают, проверяют защитное заземление, подсоединяют машину к сети и проверяют ее работу на холостом ходу и под нагрузкой, устраняют повреждения окраски. Затем проводят приемо-сдаточные испытания.

Типовой объем капитального ремонта включает операции текущего ремонта: внешний осмотр машины, проверку целостности обмоток. У машин с подшипниками скольжения проверяют осевой разбег ротора и зазор между шейкой вала и вкладышем. При необходимости производят перезаливку вкладышей.

При капитальном ремонте производят полную разборку машины, чистку и промывку всех частей, чистку, продувку и протирку сохраняемых обмоток и коллектора. В корпусах заваривают трещины, ремонтируют изношенные и забитые резьбовые отверстия. Кроме того, ремонтируют сердечники, щиты, валы, вентиляторы. При значительном снижении сопротивления изоляции обмотки сушат. После сборки машину окрашивают, затем она проходит приемо-сдаточные испытания. Обмотки заменяют, если они оказались в аварийном состоянии, при пробое во время профилактических испытаний повышенным напряжением и в особо ответственных машинах, выход из строя которых приводит к большим производственным потерям.

Устаревшее оборудование при капитальных ремонтах модернизируют, улучшая его технические характеристики (мощность, надежность, экономичность, безопасность обслуживания и т. д.), частично изменяя конструкцию. Целесообразность модернизации должна быть экономически оправдана. Оборудование со значительным моральным износом, как правило, не модернизируют.

§ 24. Структура электроремонтных цехов и предприятий

Различают централизованный ремонт, производимый на специальных ремонтных предприятиях, и децентрализованный — непосредственно на предприятиях, эксплуатирующих электрооборудование. Централизация обеспечивает высокий уровень технологии и организации производства и является основой повышения производительности труда и качества ремонта. Однако централизация не исключает проведения ремонтов на каждом промышленном предприятии.

Специализированные ремонтные предприятия производят, как правило, капитальный ремонт с заменой старой обмотки, с полной разборкой машины, ремонтом или заменой изношенных деталей (щитов, валов, станин, вентиляторов, коллекторов и др.). Ремонт производят в плановом порядке для предупреждения прогрессирующего износа и исключения случайного выхода оборудования из строя. Текущий ремонт является основным профилактическим видом ремонта, обеспечивающим долговечность и безотказность работы машины. При текущем ремонте, осуществляемом в процессе эксплуатации, ее работоспособность поддерживается путем чистки, проверки, смазки, замены быстроизнашивающихся частей (щеток, подшипников и др.) новыми.

Прогрессивным направлением в организации ремонтных предприятий является создание на них обменного фонда. Резервирование электрических машин на складах эксплуатирующего предприятия не всегда целесообразно ввиду большой дефицитности машин и широкой их номенклатуры. Более выгодно этот резерв сосредоточить на ремонтном предприятии в виде обменного фонда. В этом случае нуждающаяся в капитальном ремонте машина может быть заменена аналогичной, что максимально сокращает время простоя технологического оборудования.

Обменный фонд позволяет также лучше организовать работу на ремонтном предприятии, так как склад ремонтного фонда обеспечивает непрерывное поступление машин на производство. Близкие по устройству машины можно запускать в производство определенными партиями, что способствует более полной загрузке оборудования, уменьшает стоимость и повышает качество ремонта.

Производственный процесс ремонта начинается с момента доставки электрических машин в здание электроремонтного предприятия или цеха и осуществляется в следующем порядке: разборка, дефектация и определение объема ремонта; ремонт, изготовление и замена частей и деталей; сборка, испытания и окраска машины.

Современное специализированное предприятие (цех) осуществляет ремонт электрооборудования по поточному принципу. Из склада ремонтного фонда электрические машины поступают в разборочно-дефектационное отделение, где их разбирают и моют. В этом же отделении производят дефектацию, в процессе которой все части разделяют на три группы: годные, негодные и требующие ремонта.

Сборочные единицы и детали, которые могут быть применены без ремонта, а также требующие ремонта, направляют в комплектовочное отделение.

Комплектовочное отделение является важным звеном электроремонтного цеха. В электроремонтном цехе крупного завода в ремонте одновременно может находиться несколько сотен электрических машин и другое электрооборудование различных типоразмеров. При таком большом количестве разобранного электрооборудования хранение сборочных единиц и деталей, а также четкая и своевременная комплектовка ими ремонтируемого электрооборудования требует выделения специальных служб, которые осуществляют следующие функции: хранение не требующих ремонта деталей и сборочных единиц ремонтируемых машин до передачи их на сборку; выдачу заказов на изготовление деталей для замены забракованных при дефектации; прием и хранение вновь изготовленных и отремонтированных деталей и сборочных единиц; комплектовку ремонтируемых машин деталями и изделиями со склада запасных частей

(подшипниками, щетками, катушками обмотки, подшипниковыми щитами и крышками, различными прокладками и т. д.); передачу полного комплекта деталей и сборочных единиц на сборку.

Комплектовочное отделение выполняет также и некоторые производственные функции, например расконсервацию подшипников качения, окраску внутренних поверхностей подшипниковых щитов и крышек.

Ремонт деталей и изготовление запасных частей осуществляет слесарно-механическое отделение цеха, а ремонт и замену обмоток — отделение обмоточно-изоляционных работ, которое включает заготовительный участок и участки укладки обмоток и пайки схем. Такое разделение операций освобождает укладчиков обмотки от всех вспомогательных работ и обеспечивает высокую производительность труда. После укладки обмотки сборочные единицы проходят операционные испытания на промежуточном испытательном стенде.

После пропитки в пропиточно-сушильном отделении обмотанные статоры, роторы и якоря возвращают в комплектовочное отделение и далее направляют непосредственно на сборку.

В отделении механического ремонта ремонтируют валы, вентиляторы и кожухи, подшипниковые щиты, крышки и другие детали, восстанавливают резьбовые отверстия в станинах, щитах и шпоночные канавки в валах, протачивают контактные кольца и др. Распространенной операцией является восстановление поврежденных посадочных поверхностей.

В отделении сборки собирают ремонтируемые машины. Для обеспечения высокой производительности труда сборщиков освобождают от всех видов работ по подбору комплекта собираемой машины: весь комплект деталей и сборочных единиц, включая подшипники и крепежные детали (болты, гайки, шайбы), доставляют из комплектовочного отделения.

Испытания отремонтированных машин производят на испытательных станциях, а окраску — в специальном помещении окрасочного отделения. На специализированных ремонтных предприятиях, выпускающих десятки тысяч асинхронных электродвигателей в год, применяют специальные окрасочные линии с подвесным конвейером, на которых окраску производят автоматически в герметически закрытой камере методом распыления без воздушной струи. На малых предприятиях окраску производят пульверизатором в специальной камере с гидрофильтром.

Оборудование современного электроремонтного цеха весьма разнообразно. Оно включает подъемно-транспортные устройства: мостовые краны, кран-балки, электрокары, тележки и т. п. Слесарно-механическое отделение оборудуют различными металлорежущими станками: токарными, сверлильными, строгальными, фрезерными, шлифовальными и др. Для проведения штамповочных и сборочно-разборочных работ в цехе имеется прессовое оборудование.

Намоточно-изоляционное отделение имеет станки для намотки бандажей на лобовые части обмоток и для горячей обкатки деталей

со слоистой изоляцией. На сушильно-пропиточном участке располагают сушильные печи и камеры, вакуум-сушильно-пропиточные установки, баки и котлы для пропитки и лакировки обмоток, пульверизаторы и др.

В цехе имеются также установки для промывки частей машины после разборки, вентиляционные камеры для продувки сжатым воздухом, сварочно-паяльное оборудование, ножницы (гильотинные, дисковые и др.), станки для продороживания коллекторов, пресс-формы и др.

§ 25. Изнашивание деталей машин

Изнашивание — это процесс постепенного изменения размеров и формы тела при трении, проявляющийся в отделении с поверхности трения материала и в его остаточной деформации. В электрических машинах происходит механическое, молекулярно-механическое, коррозионно-механическое и другие виды изнашивания.

Механическое изнашивание существенно не отражается на физических и химических свойствах материала. При молекулярно-механическом изнашивании механическое воздействие сопровождается одновременным воздействием молекулярных или атомарных сил на поверхности деталей; такое изнашивание происходит, например, в подшипниках качения при высоких контактных давлениях шарика на дорожку качения кольца и сопровождается переносом материала с одной поверхности на другую. Коррозионно-механическое изнашивание вызывается трением поверхностей, вступивших в химическое взаимодействие со средой; его подразделяют на окислительное и фретинг-коррозию. Окислительное изнашивание возникает при наличии на поверхностях трения оксидных пленок, образовавшихся в результате взаимодействия материала деталей с кислородом. Фретинг-коррозия имеет место при малых колебательных движениях; этот вид изнашивания характерен для поверхностей деталей в неподвижных соединениях, воспринимающих вибрационные нагрузки (например, поверхности колец подшипников качения, соприкасающиеся с валом и корпусом, заклепочные соединения). Фретинг-коррозия может образовываться как при сухом трении, так и при работе в условиях смазки.

Абразивное изнашивание является разновидностью механического изнашивания. Оно происходит в результате режущего и царапающего действия твердых частиц, которые находятся между трущимися поверхностями. Различают газоабразивное и гидроабразивное изнашивание; последнее возникает в результате воздействия твердых частиц, увлекаемых потоком газа или жидкости.

Усталостное изнашивание — разновидность механического изнашивания. Оно является следствием многократного деформирования микрообъемов материала, приводящего к возникновению трещин и отделению с поверхности слоев материала.

Эрозионное изнашивание происходит под воздействием потока жидкости или газа на поверхность детали. Электроэрозионное из-

нашивание связано с появлением искровых разрядов, при которых частицы металла переносятся с анода на катод и частично рассеиваются в окружающем пространстве. Разряды возникают при замыкании и размыкании контактов электрических приборов, а также между щеками и коллектором или контактными кольцами.

В машинах некоторые детали при сохранении геометрических размеров и формы становятся непригодными к дальнейшей работе в результате потери упругости. Наиболее часто выходят из строя по этой причине щеточные пружины токосъемного устройства.

Надежность электрических машин в значительной степени зависит от состояния изоляции обмоток. Основной характеристикой изоляции является ее электрическая прочность, а также теплопроводность, механическая прочность и другие свойства.

Изоляция разрушается в результате нагрева, механических усилий (давление, вибрация и удары), влияния влаги, агрессивных сред и других факторов. В высоковольтных машинах существенное значение имеет воздействие на их поверхности электрического поля. Необратимые изменения структуры и химического состава изоляции под действием перечисленных факторов вызывают ее *старение*. Процесс ухудшения свойств изоляции в результате старения называется *износом*. В ряде случаев возможно повреждение изоляции, не связанное с износом: продавливание, прорезание ее острыми кромками металлических деталей, образование трещин вследствие значительных напряжений при изгибе и т. п. Такие местные дефекты часто приводят к пробою изоляции задолго до появления существенных признаков старения.

Отказы машин постоянного тока часто происходят вследствие износа коллектора и щеток. Их механическое изнашивание зависит от давления щеток на коллектор, вибрации, биения коллектора, скорости перемещения поверхности коллектора относительно щеток и т. д. При нарушении постоянства скользящего контакта в результате биения коллектора искрение щеток увеличивается, увеличивается износ и обгорание щеток и коллекторных пластин. Коррозионно-механическое изнашивание зависит от состава и влажности окружающего воздуха, наличия в среде активных газов, образования оксидной пленки (политуры) на поверхности коллектора и т. д. Пленка снижает скорость изнашивания. На износ коллектора влияет также плотность тока под щеткой, нарушение коммутации (повышенное искрение), сопротивление переходного контакта между щеткой и коллектором, марка щетки и материал, из которого изготовлены пластины коллектора.

§ 26. Подготовка электрических машин к ремонту

Объем и характер ремонтных работ определяют в результате внешнего осмотра машины, в процессе предремонтных испытаний и разборки, а также после осмотра и испытаний отдельных частей.

Перед осмотром машину очищают от грязи и пыли, продувают сжатым воздухом ее наружную поверхность, обмотки, контактные

кольца, коллектор и другие доступные части. При осмотре проверяют комплектность (наличие у машины всех основных частей и деталей): корпус, подшипниковые щиты и крышки, колодки зажимов, выводные концы и др.

В ремонт принимают, как правило, комплектные машины, т. е. такие, у которых имеются все сборочные единицы и детали. Не принимают в ремонт электрические машины малой и средней мощности, если у них разбит корпус или подшипниковый щит, отбито более двух лап, машины со значительными повреждениями механических частей, которые невозможно устранить силами ремонтного цеха или предприятия. Восстановление таких машин требует значительных затрат, превышающих стоимость новой машины. Кроме того, после ремонта они не будут обладать достаточно высокой эксплуатационной надежностью.

В тех случаях, когда машина имеет исправную механическую часть и может быть отремонтирована без перемотки перед разборкой, проводят предремонтные испытания на холостом ходу в течение 30 мин. Перед включением электродвигателя в сеть проверяют свободный ход ротора, наличие смазки в подшипниках, измеряют сопротивление и испытывают электрическую прочность изоляции.

Во время предремонтных испытаний на холостом ходу измеряют токи в фазах трехфазных двигателей, вибрации, проверяют состояние механической части машины, нагрев подшипников, работу щеточно-коллекторного аппарата и выполняют ряд других операций. Увеличение тока холостого хода сверх максимально допустимых значений может свидетельствовать о ряде дефектов: увеличении воздушного зазора, осевом смещении ротора относительно статора, слабой прессовке сердечника, уменьшенном числе витков обмотки в результате ошибки при предыдущем ремонте.

В процессе разборки замеряют воздушный зазор, зазоры в подшипниках, износ коллектора, контактных колец, щеткодержателей. Замеренный воздушный зазор сравнивают с каталожными данными. Если такие сведения отсутствуют, о допустимости зазора можно судить по ориентировочным данным (табл. 7, 8).

Таблица 7. **Воздушные зазоры у асинхронных двигателей**

Частота вращения, об/мин	Зазор, мм, при мощности двигателя, кВт							
	до 0,2	0,2—1,0	1,0—2,5	2,5—5,0	5,0—10	10—20	20—50	50—100
500—1500	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,4	0,5	0,65
3000	0,25	0,3	0,35	0,4	0,5	0,65	0,8	1,0

Если позволяет конструкция, воздушный зазор замеряют до разборки с каждой стороны машины в трех-четырех точках через отверстия в торцах щитов. Среднее значение зазора вычисляют как среднеарифметическую произведенных замеров. Особое внимание обращают на замеры зазоров у асинхронных машин. Увеличение

Таблица 8. **Воздушные зазоры у машин постоянного тока**

Мощность машины, кВт	Зазор, мм, под полюсом		Мощность машины, кВт	Зазор, мм, под полюсом	
	главным	добавочным		главным	добавочным
0,2—1	0,6	1,0	20—30	2,0	4,0
1—2	0,8	1,0	30—50	3,0	5,0
3—5	1,0	2,5	50—100	4,0	6,0
6—8	1,0	3,0	100—150	4,5	6,0
9—20	1,5	3,0			

воздушного зазора приводит к уменьшению коэффициента мощности cos φ, кпд и мощности машины.

Асинхронные двигатели с зазором, увеличенным более чем на 25%, в ремонт не принимают. Чтобы поднять коэффициент мощности при перемотке двигателей с увеличенным зазором, изменяют обмоточные данные.

Если машина не имеет отверстий в щитах, зазоры измеряют после разборки. Ротор укладывают на внутреннюю поверхность статора и замеряют зазор δ_1 в верхней точке. Затем ротор поворачивают на 90° и вновь замеряют зазор δ_2 в верхней точке. Средняя величина рассчитывается по формуле $\delta_{ср}=0{,}25\ (\delta_1+\delta_2)$.

Радиальные зазоры в подшипниках качения измеряют щупом, вводя его между телом качения и беговой дорожкой наружного кольца в верхней его точке при горизонтальном положении оси машины. Допустимые зазоры приведены в табл. 9.

Таблица 9. **Допустимые зазоры в подшипниках качения**

Внутренний диаметр подшипника, мм	Зазор в шариковых подшипниках, мм		Зазор в роликовых подшипниках, мм	
	минимальный	максимальный	минимальный	максимальный
20—30	0,005	0,100	0,010	0,100
35—50	0,010	0,150	0,020	0,150
55—80	0,015	0,200	0,030	0,200
85—120	0,020	0,300	0,040	0,300
125—180	0,025	0,350	0,045	0,350

В подшипниках скольжения с неразъемными вкладышами верхний зазор (табл. 10) между шейкой вала и вкладышем измеряют щупом, который по возможности вводят на всю длину вкладыша. Замеряют также и боковые зазоры, которые не должны превышать половину зазора в верхней части.

После разборки части машины, подлежащие ремонту, промывают и испытывают, определяют объем и содержание ремонтных работ для каждой из них и оформляют дефектационную карту. На ее основе составляют маршрутную технологическую карту ремонта.

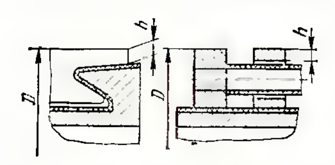
Таблица 10. **Допустимые зазоры в разъемных и неразъемных подшипниках скольжения**

Диаметр шейки вала, мм	Верхний зазор, мм, при частоте вращения, об/мин		
	от 750 до 1000	свыше 1000 до 1500	свыше 1500 до 3000
31—50	0,050—0,112	0,075—0,160	0,17—0,34
51—80	0,065—0,135	0,095—0,195	0,20—0,40
81—120	0,080—0,160	0,120—0,235	0,23—0,46
121—180	0,100—0,195	0,150—0,285	0,26—0,52
181—260	0,120—0,225	0,180—0,300	0,30—0,60
261—360	0,140—0,250	0,210—0,380	0,34—0,68

Работы по выявлению неисправностей и повреждений перед ремонтом называют *дефектацией*.

Коллекторы и контактные кольца подлежат замене, если их износ превышает предельно допустимую величину (табл. 11).

Таблица 11. **Допустимый износ коллектора и контактных колец**



Наружный диаметр коллектора или контактных колец *D*, мм	Минимальный размер *h*, мм		Наружный диаметр коллектора или контактных колец *D*, мм	Минимальный размер *h*, мм	
	для коллектора	для контактных колец		для коллектора	для контактных колец
До 100	2,5	3	Выше 250 до 300	4,0	6
Выше 100 до 150	3,0	4	» 300 » 350	4,5	—
» 150 » 200	3,5	4	» 350 » 400	5,0	—
» 200 » 250	4,0	5	» 400 » 500	5,0	—

В ремонтном цехе могут отсутствовать необходимые для ремонта данные машин старых конструкций. При подготовке к ремонту таких машин снимают необходимые эскизы и схемы, в дефектационную карту записывают все сведения, без которых не могут быть восстановлены обмотки и другие части машины: число и размеры проводов в пазу, тип и шаг обмотки, число пазов, вылеты лобовых частей и др.

Для облегчения удаления обмотки из пазов статоров, подлежащих перемотке, изоляцию выжигают. Статор помещают в герметически закрытую электропечь, в которой автоматически поддерживается 350—400 °С, и выдерживают в ней 4—6 ч. Если статор по

своим размерам не может быть размещен в печи, то изоляцию выжигают, нагревая обмотку током от понижающего трансформатора. В этом случае необходим тщательный контроль температуры сердечника, которая не должна превышать 400 °С.

Статоры и роторы крупных машин после удаления обмотки очищают от грязи и масла специальными негорючими жидкостями МЖ-70, дизельным топливом с фреоном и др. По условиям пожарной безопасности очистка бензином запрещается.

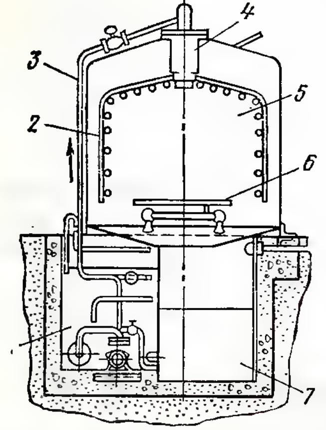


Рис. 41. Моечная машина с вращающимся разбрызгивателем

Части машин меньших размеров укладывают в контейнеры, используя проходные моечные машины и моечные средства МЛ. Раствор подогревают до 85—90 °С.

В установке с вращающимся разбрызгивателем моечная жидкость из бака *1* (рис. 41) центробежным насосом под давлением подается по трубе *3* в распределитель *4*, откуда поступает в разбрызгиватель *2*. Части машины крепят к стойкам, устанавливаемым на тележку *6*, которая закатывается в моечную камеру *5*. Благодаря вращению разбрызгивателя они омываются со всех сторон. Раствор из камеры стекает через люк-сетку в бак *7*. Процесс мойки длится 7—10 мин. Затем включают вентилятор и после 3—5 мин его работы тележку выкатывают из камеры. Моечные растворы оказывают агрессивное действие на алюминий и его сплавы, поэтому нельзя промывать ими детали, выполненные из этих материалов.

§ 27. Разборка электрических машин

Ремонт электрических машин почти всегда связан с их полной или частичной разборкой. На операции разборки, сборки и регулировки сборочных единиц и испытание отремонтированной машины при капитальном ремонте затрачивается до 30% времени. Для уменьшения времени простоя машин в ремонте и повышения производительности труда необходима четкая организация и максимальная механизация сборочно-разборочных работ.

Для завинчивания и отвинчивания болтов, гаек и винтов применяют электрогайковерты и электрошуруповерты. Электрогайковерт снабжен муфтой кулачкового типа, которая расцепляет шпиндель *5* (рис. 42, *а*) и держатель *3* ключа *1* в момент окончания затяжки или при тугом вращении сопрягаемых деталей резьбового соединения. Кулачки муфты *15* и *4* под воздействием пружины *14* инструмента находятся в расцепленном состоянии. При нажатии на рукоятку *9* пружина сжимается, держатель *3* сближается со шпинделем *5* и кулачки муфты входят в зацепление. Вращение от вала *12* ротора *10* электродвигателя передается через шестерни *6*, *7* и *13* редуктора шпинделю и держателю. На конце держателя закрепляется сменная головка ключа. По окончании затяжки головка останавливается и кулачки муфты начинают проскальзывать относительно друг друга. Головка на своем хвостовике имеет кольцевую проточку, куда западает шарик *2*, удерживающий головку в держателе.

Привод гайковерта осуществляется электродвигателем *8*, который охлаждается вентилятором *11*.

Электрогайковерты с муфтой кулачкового типа по принципу действия относятся к безударному (статического действия) резьбозавертывающему ручному инструменту. Существенным недостатком

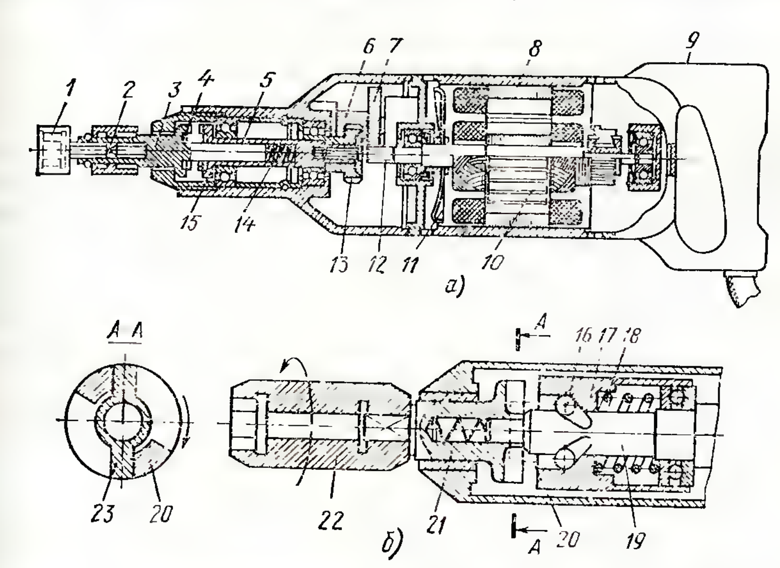


Рис. 42. Электрогайковерт статического (*а*) и ударно-вращательного (*б*) действия

таких гайковертов является передача реактивного момента на руки рабочего, поэтому их возможно применять для затяжки резьбовых соединений диаметром не более 12 мм.

В гайковертах ударно-вращательного действия энергия при затяжке резьбового соединения и в начале его отвертывания, когда требуется максимальный момент, передается головке ключа *22* (рис. 42, *б*) вращательными ударами (импульсами); здесь реактивный момент не передается на руки рабочего. Кроме того, они имеют значительно меньшую массу по сравнению со статическими. Основным их элементом является ударно-импульсный механизм, преобразующий непрерывное вращение привода в серию периодически повторяющихся ударов. Импульсное приложение энергии к резьбовому соединению значительно повышает выходную мощность, что позволяет затягивать резьбовые соединения диаметром до 80 мм ручными гайковертами со сравнительно небольшой массой.

Ударно-вращательный механизм состоит из вала *19*, ударника *17*, шпинделя *21* с наковальней, пружины *18* и шариков *16*. Вал механизма имеет V-образные винтовые канавки, в которых размещены шарики. Он зафиксирован от перемещения в продольном направлении.

Цилиндрический ударник имеет два кулачка *20* на переднем торце. На внутренней поверхности ударника находятся два углубления, выполненные по винтовой линии. Ударник охватывает вал механизма и опирается на него через шарики, благодаря которым может совершать винтовое движение. Ударник поджат пружиной, удерживающей его в переднем положении. Вращение от двигателя на вал механизма передается через редуктор.

Вал через шарики вращает ударник, но его кулачки не сцеплены со шпинделем *21*, поэтому последний неподвижен. Когда оператор прилагает к гайковерту осевое усилие, кулачки ударника входят в зацепление с кулачками *23* шпинделя, который начинает вращаться вместе с головкой ключа. Пока сопротивление вращению невелико, частота вращения шпинделя равна частоте вращения вала механизма. Когда торец гайки (болта) соприкоснется с поверхностью детали, момент сопротивления возрастает, вращение шпинделя замедляется. Кулачки ударника выходят из зацепления с кулачками шпинделя, ударник перемещается назад, преодолевая усилие пружины. Затем под действием сжатой пружины он перемещается вперед, его кулачки наносят удар по кулачкам шпинделя, передавая момент на головку ключа.

Шуруповерты имеют устройство (ловитель) для удержания шурупов и винтов в положении, перпендикулярном поверхности, в которую они ввертываются.

Электрифицированный инструмент (электрические сверлильные машины, электрогайковерты, электрошуруповерты и др.) выпускают на напряжения переменного тока 220 и 36 В с частотой 50 и 200 Гц соответственно. При работе с электроинструментом на напряжение 220 В следует принимать особые меры предосторожности. Разрешается работать только в диэлектрических перчатках и при обязательном заземлении корпуса электроинструмента. Более безопасен электроинструмент на напряжение 36 В.

При работе с электросверлильной машиной ее следует сначала установить в рабочее положение с упором сверла в намеченный центр сверления и лишь после этого включить электродвигатель. Менять сверла и насадки разрешается только после отключения машины от питающей сети.

Для снятия деталей, соединенных с большим натягом, требуются значительные усилия. Шкивы, полумуфты, втулки, подшипники спрессовывают с вала винтовыми съемниками. Универсальный съемник имеет три тяги *9* (рис. 43), шарнирно соединенные планками *4* с гайкой *3*. Гайка *8* имеет наружную и внутреннюю резьбы и грани под ключ со стороны головки *1* винта *7* съемника. При вращении гайки *8* расстояние между гайкой *3* и траверсой *2* изменяется, в результате этого лапы съемника раздвигаются или сближаются. Таким образом, происходит настройка съемника под размер демонтируемой детали. Выступами лап захватывают деталь, винт упирают в торец вала. Съем происходит при вращении винта рычагом *10*. Чтобы уменьшить силу трения между валом и винтом, упор осуществляется через шарик *6*, закрепленный в колпачке *5*.

Ручной съемник требует затраты значительных усилий. Съем крупных деталей облегчается и ускоряется при применении гидравлического съемника, представляющего собой установленную на колесах площадку *1* (рис. 44) с двумя стойками *2*, на которых может вертикально перемещаться плунжерный насос *8*. На корпусе насоса

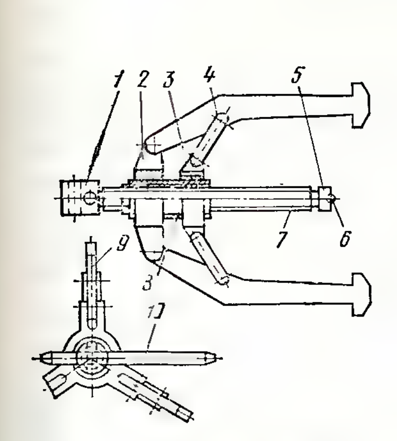


Рис. 43. Универсальный винтовой съемник

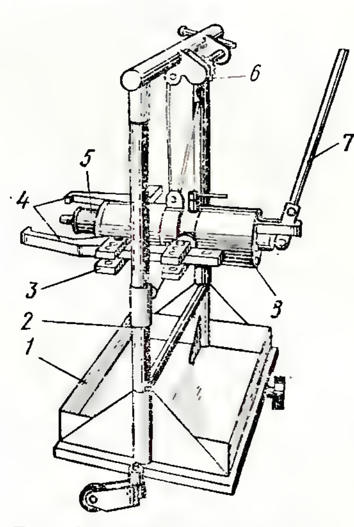


Рис. 44. Гидравлический передвижной съемник

установлены траверсы *3* с отверстиями, которые позволяют закрепить болтами захваты *4* в нужном положении в зависимости от диаметра стягиваемой детали. Деталь закрепляют стропом на крюке подъемного приспособления, чтобы она не упала после съема. Лебедкой *6* насос устанавливают на такой высоте, чтобы центр упора *5* совпал с осью вала машины. Захваты должны надежно закрепить деталь в горизонтальной плоскости, проходящей через ось вала. Качанием рукоятки *7* создают необходимое давление масла, главный и боковые плунжеры приходят в движение. Боковые плунжеры захватывают деталь, главный, перемещаясь вдоль оси насоса, стягивает ее с вала.

Для облегчения съема деталей в их конструкции предусматривают специальные элементы. Так, например, на наружной поверхности втулок протачивают кольцевые канавки под лапы съемника. Во втулках вентиляторов выполняют резьбовые отверстия для ввинчивания шпилек. Во фланцевой части подшипниковых щитов в месте соприкосновения с корпусом выполняют резьбовые отверстия, в

которые при разборке ввинчивают болты. Поочередно вращая их в диаметрально противоположных точках, щит отжимают от корпуса.

Разборку следует производить без ударов и перекосов, соблюдая определенную последовательность. Для этого необходимо составить план разборки на основе изучения сборочного чертежа машины.

В процессе разборки надо предохранять от повреждения шейки валов под подшипники, коллекторы, щетки, вентиляторы, обмотки. Чтобы избежать поломки, нельзя захватывать вентилятор съемником за тонкий диск. Для этой цели надо использовать кольцевые проточки и резьбовые отверстия в торце втулки. Изменение углового положения вентилятора может нарушить балансировку ротора. Поэтому, если он посажен на вал без шпонки, перед разборкой надо отметить его угловое положение с помощью рисок или кернения на валу и ступице.

Разборка электрических машин, подшипниковые опоры которых не имеют крышек, несложна. Так, например, разборка асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором (см. рис. 15) производится в такой последовательности. Сначала снимают кожух *14*, отвинтив винты *13*, крепящие его к щиту *15*. Затем снимают вентилятор *16*, вывинтив болт *18* на один-два оборота.

Щиты *15* снимают после вывинчивания болтов крепления. В последнюю очередь выводят ротор из статора и спрессовывают подшипники. На этом разборка заканчивается.

У асинхронных двигателей с капсюлями (см. рис. 16) или внутренними подшипниковыми крышками перед съемом щитов отвинчивают винты или гайки крепления капсюлей (или крышек).

У асинхронных двигателей мощностью до 100 кВт с внутренними подшипниковыми крышками ротор выводят из статора обычно вместе со щитом. Для этого отвинчивают болты или гайки крепления крышки подшипника только со стороны привода. Затем снимают щит (передний) со стороны привода и выводят ротор, перемещая его легкими толчками в сторону второго (заднего) щита. Ротор вместе с задним щитом кладут сердечником на подставку, затем снимают задний щит, предварительно отвинтив болты или гайки, крепящие подшипниковые крышки. У фазных электродвигателей АК2 при снятии заднего щита сначала снимают кожух контактных колец, вынимают щетки и снимают корпус контактных колец, отвинтив крепящие его болты. При разборке двигателей АОК2 приходится также снимать с вала контактные кольца. Для этого отпаивают соединительные хомутики от выводных концов, вынимают из канавки вала стопорное кольцо. Контактные кольца стягивают с вала съемником.

Подшипниковые щиты выпрессовывают из корпуса, избегая перекосов, чтобы не повредить подшипники. Для этого усилие прикладывают в диаметрально противоположных точках, постепенно перемещая щит в осевом направлении.

Для сохранения токосъемного устройства машины со щетками разбирают, принимая меры предосторожности. Щетки перед разборкой вынимают из обойм щеткодержателей. В некоторых конструкциях предусматривается съем щеткодержателей перед разборкой.

У машин постоянного тока перед съемом щитов отсоединяют провода, соединяющие щеткодержатели с обмотками добавочных полюсов, щеткодержатели с колодкой зажимов, если она расположена на корпусе машины, и другие провода, препятствующие съему щита с корпуса. Щетки вынимают из гнезд щеткодержателей, а коллектор обертывают картоном, который закрепляют лентой. Для

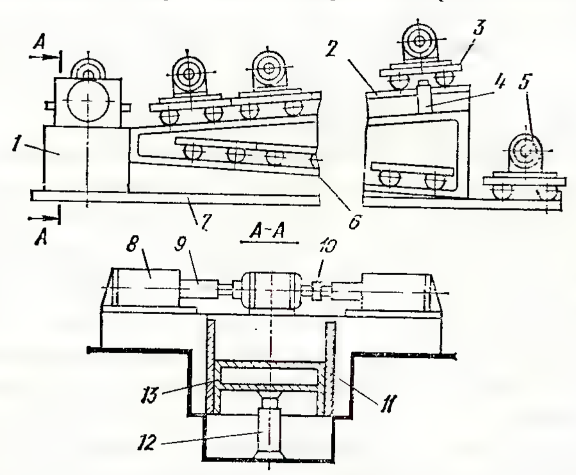


Рис. 45. Тележечный конвейер для разборки двигателей

доступа к щеткам и коллектору снимают ленты *5*, *17* (см. рис. 19) с люков. После съема щитов якорь из машины выдвигают в сторону вентилятора.

Дальнейшая разборка машины зависит от того, какие части подлежат ремонту или замене. Для ремонта обмотки якоря снимают подшипник и вентилятор *18*. Для ремонта токосъемного устройства отвинчивают болты, крепящие траверсу к подшипниковому щиту, отметив ее угловое положение рисками. Затем освобождают крепление щеточных пальцев к траверсе и при необходимости снимают щеткодержатели с щеточных пальцев. Для ремонта полюсных катушек отвинчивают болты крепления полюсов к корпусу, снимают полюса с катушками и в последнюю очередь катушки с полюсов.

На специализированных предприятиях, выпускающих из ремонта десятки тысяч асинхронных двигателей в год, для разборки применяют тележечный конвейер. На раме *7* (рис. 45) конвейера установлены рельсовые пути: верхний — подающий *2* и нижний — обратный *6*. Верхний путь имеет уклон в сторону конца *1* рамы, где расположен вертикальный гидроподъемник, в котором под действием гидроцилиндра *12* вверх и вниз перемещается стол *13* в вертикальных направляющих *11*. В стол встроены тиски с электромеханическим приводом таким образом, что на горизонтальной

поверхности стола остаются только их губки. Тележки *3* имеют поворотные устройства, позволяющие производить различные технологические операции, связанные с разборкой, без перехода на другую сторону конвейера.

Работа на конвейере осуществляется следующим образом. Тележки по обратному рельсовому пути толкателями подаются к началу конвейера на загрузку. Двигатель *5* устанавливают на тележку и подъемником поднимают на верхний подающий путь, тележка по уклону движется в сторону конца *1* рамы и попадает на стол, который находится в верхнем положении. На конце рамы установлены гидроцилиндры *8* со штоками *9* и центрирующими грибками *10*. При перемещении штоков навстречу друг другу электродвигатель устанавливается по их оси и фиксируется после опускания стола в подвешенном состоянии. Тележка передается на обратный рельсовый путь, а стол возвращается в верхнее положение. Затем электродвигатель закрепляется на поверхности стола тисками, штоки отводятся в исходное положение. В отверстия центрирующих грибков вставляются оправки, с помощью которых, перемещая штоки, снимают подшипники и подшипниковые щиты.

Тележку останавливают на определенных участках подающего пути подпружиненным фиксатором *4*, с помощью которого придается также начальное ускорение при передаче на следующую фиксируемую позицию.

При разборке электрических соединений на разъединенные концы навешивают при необходимости бирки с маркировками, которые помогают впоследствии правильно собрать схему.

§ 28. Неисправности электрических машин

Время пребывания машины в ремонте, стоимость ремонта и его качество во многом зависят от точности определения характера неисправности. Предварительно причину отказа устанавливают перед отправкой машины в ремонт, окончательно — во время предремонтных испытаний, разборки, а также при осмотре и испытании отдельных частей и деталей.

Ненормальная работа машины и выход ее из строя могут быть вызваны внешними причинами. К ним относятся: обрыв одного или нескольких проводов питающей сети, перегорание плавких вставок предохранителей, неисправность пусковой аппаратуры, повышенное или пониженное напряжение питающей сети, перегрузка машины, высокая температура окружающей среды. Прежде чем снимать машину для ремонта с места ее установки, определяют, не вызвана ли ее ненормальная работа внешней причиной. Обычно такую неисправность устраняют на месте. Однако бывают случаи, когда исправная машина поступает в ремонтный цех.

Высокая температура окружающей среды приводит к перегреву изоляции и ее ускоренному старению. В таких машинах обычно необходимо заменить обмотки.

В самой машине различают неисправности обмоток и механической части. В обмотках встречаются следующие неисправности: пробой изоляции на корпус, витковые замыкания, обрыв проводов и мест паек, распайка соединений, неправильные соединения катушек. К механическим неисправностям относятся износ и разрушение подшипников, износ посадочных поверхностей на валу, в щите и корпусе, ослабление крепления полюсов, разрушение бандажей на обмотках роторов, появление трещин в щитах, изгиб и поломка валов.

Рис. 46. Обнаружение обрывов:

а — в сетевом проводе, *б* — в обмотке статора

Наиболее часто поступают в ремонт трехфазные асинхронные двигатели. Перед разборкой их испытывают на холостом ходу и под нагрузкой. При испытаниях можно выявить некоторые характерные неисправности обмоток.

Двигатель не запускается и издает ненормальный гул чаще всего при обрыве фазы сети или одной-двух (при соединении треугольником) фаз статорной обмотки, а также при обрывах в двух или трех фазах фазного ротора. Обрыв обнаруживают мегаомметром. Двигатель отсоединяют от сети (рис. 46, *а*) и изменяют поочередно сопротивления между зажимами *1* и *2*, *1* и *3*, *2* и *3* выключателя. В случае обрыва цепи прибор при одном из измерений покажет бесконечность. Для нахождения места обрыва отсоединяют провода от зажимов колодки двигателя (рис. 46, *б*) и измеряют сопротивление между зажимами *1* и *2*, *1* и *3*, *2* и *3* колодки. Если при всех трех измерениях прибор покажет, что цепь замкнута, обрыв следует искать в участке сети, расположенном между выключателем и машиной. При обрыве в фазе обмотки мегаомметр покажет бесконечность на зажимах колодки машины.

Обрыв в проводах сети (отсутствие напряжения между проводами) можно обнаружить также с помощью вольтметра, измеряя напряжение на зажимах колодки машины и выключателя. Если вольтметр при соединении с любой парой проводов показывает напряжение сети, обрыв надо искать в обмотке машины. Эти измерения надо проводить, соблюдая правила безопасности, чтобы не попасть под напряжение сети. Вольтметр должен иметь контакты с изоляционными рукоятками. Если прибор не имеет рукояток, его следует присоединять к зажимам при отключенном выключателе.

Бывают случаи, когда двигатель плохо разворачивается и издает сильный гул, токи во всех трех фазах различны и превышают номинальное значение даже при холостом ходе, предохранители перегорают. Эта неисправность является следствием неправильного соединения фаз обмотки статора, когда одна из фаз обмотки «перевернута», т. е. конец и начало фазы поменялись местами. Обычно

это бывает у двигателей с шестью выводами обмотки статора при утере части бирок, обозначающих начала и концы фаз, или неправильной маркировке фаз.

Проверить маркировку фаз трехфазной обмотки можно на переносных аппаратах СМ и ЕЛ. Фазы соединяются звездой. Два вывода обмотки *А* и *В* (рис. 47) присоединяют к зажимам аппарата *1* и *3* «Вых. имп.», третий — к зажиму *5* «Сигн. явл.». Импульсный генератор аппарата с зажимов *1* и *3* посылает поочередно через синхронный переключатель на фазы *А* и *В* волну импульсного напряжения. На экране *2* прибора наблюдаются кривые напряжения на фазах. Форма кривых зависит от сопротивлений обмотки и соединения фаз.

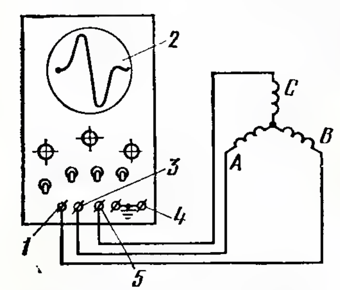


Рис. 47. Маркировка выводов на аппаратах СМ и ЕЛ

Если две фазы *А* и *В* соединены концами или началами, две кривые накладываются друг на друга и на экране мы видим одну кривую.

В случае соединения в общую точку начала одной фазы и конца второй фазы на экране наблюдаются две кривые, резко отличающиеся друг от друга. Подсоединение третьей фазы с началом или концом к общей точке звезды не влияет на кривые на экране, так как по третьей фазе проходят оба импульса.

Одновременное изображение двух кривых объясняется свойством послесвечения экрана. Луч записывает сначала кривую напряжения на одной фазе. Не успевает она исчезнуть, как на экране появляется кривая напряжения на другой фазе. Подсоединяя поочередно к зажимам аппарата *1* и *3* пары фаз *А* и *В*, *А* и *С*, *В* и *С* и меняя выводы «вывернутой» фазы местами, добиваются такого положения, когда все пары фаз дают на экране одну кривую. В этом случае в общую точку звезды будут соединены все начала или все концы фаз.

Аппарат до подсоединения к источнику питания должен быть надежно заземлен. Для этой цели служит правый зажим *4* «Земля». Напряжение на зажимах аппаратов может подниматься до 600 В, поэтому нельзя их вскрывать, не отключая от сети, и браться за оголенные концы проводов, когда они находятся под напряжением.

Маркировку выводов трехфазных обмоток (рис. 48) можно проверить и без специального прибора индуктивным методом с помощью аккумулятора или сухого элемента напряжением около 2 В и вольтметра постоянного тока. Сначала определяют выводы каждой из фаз контрольной лампой или мегаомметром и произвольно их маркируют, одну из фаз принимая за первую (*I*). На нее навешивают временные бирки *1*, *4*; на второй (*II*) фазе — *2*, *5*; на третьей (*III*) — *3*, *6*. Источник постоянного тока подключают к выводам первой фазы (рис. 48, *а*): плюс к началу фазы, минус к концу. К выводам других фаз поочередно присоединяют вольтметр постоянного тока. Если при замыкании ключа стрелка вольтметра отклоняется

вправо, начало фазы будет присоединено к его минусу. При другом способе после определения своих выводов две произвольные фазы соединяют последовательно и подключают к сети переменного тока на пониженное напряжение (рис. 48, *б*). В случае отсутствия источника пониженного напряжения последовательно с фазами включают реостат или лампу. К третьей фазе подключается прибор (вольтметр переменного тока или лампа), фиксирующий наличие в ней напряжения. Переключением выводов второй фазы к концу первой подбирают такое соединение, при котором прибор показывает отсутствие напряжения в третьей фазе. Это свидетельствует о том, что

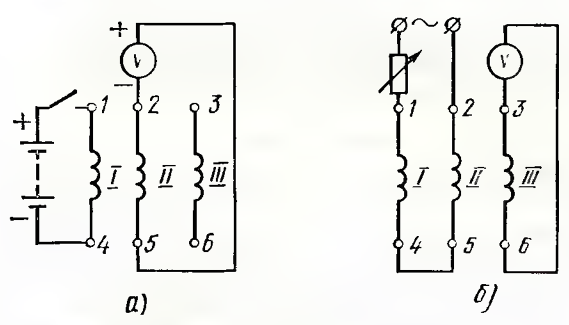


Рис. 48. Маркировка выводов трехфазных обмоток:

а — с помощью источника постоянного тока, *б* — подключением к сети переменного тока

соединены концы фаз. При соединении двух фаз разноименными выводами (конца с началом) прибор показывает наличие напряжения в третьей фазе. Присоединяя к первой фазе третью, а прибор ко второй, аналогичным образом маркируют третью фазу.

Двигатель может также не запускаться без нагрузки вследствие задевания ротора за статор, заклинивания подшипников, перекоса подшипниковых щитов. Заторможенный двигатель немедленно отключают от сети, так как проходящий в этом режиме по обмоткам пусковой ток в 4—7 раз превышает номинальный.

Двигатель с фазным ротором может устойчиво работать при частоте вращения в несколько раз меньшей номинальной. Это происходит при обрыве в одной из фаз ротора.

Обрывы в цепи фазного ротора определяют вольтметром при включенной в сеть обмотке статора. Если вольтметр показывает одинаковое напряжение между зажимами всех трех фаз обмотки ротора, обрыв находится во внешней цепи ротора. В этом случае проверяют провода, соединяющие обмотку ротора с реостатом, и качество контактов между кнопками и ползунками реостата. Если напряжение на зажимах ротора равно нулю, имеется обрыв в обмотке ротора. В этом случае прежде всего проверяют качество скользящего контакта между щетками и контактными кольцами и соединения выводов роторной обмотки с контактными кольцами.

Пониженная частота вращения двигателя под нагрузкой может быть вызвана перегрузкой двигателя, пониженным напряжением сети, ошибочным соединением фаз обмотки статора звездой вместо треугольника, обрывом в одной из фаз обмотки статора при соединении фаз треугольником, обрывом нескольких стержней в обмотке короткозамкнутого ротора или увеличением сопротивления в цепи фазного ротора.

Двигатель перегревается под нагрузкой при повышенном или пониженном напряжении сети, перегрузке, нарушении вентиляции, соединении фаз обмотки треугольником вместо звезды, замыкании обмотки статора на корпус или между фазами.

Короткозамкнутый ротор перегревается при обрывах стержней «в беличьей клетке». Двигатель в этом случае издает гул, вибрирует, плохо запускается и не развивает нормальной частоты вращения.

Перегрев фазного ротора происходит из-за обрыва или плохого контакта в цепи обмотки и местного замыкания листов сердечника.

Вибрации двигателя под нагрузкой вызываются следующими причинами: несоосностью валов двигателя и механизма, неуравновешенностью ротора, обрывом стержней или короткозамыкающих колец, коротким замыканием в обмотках ротора или статора, износом подшипников, недостаточной жесткостью фундамента.

Исправный электродвигатель при работе издает шум, который возникает вследствие вибрации его частей. Различают следующие виды шумов: магнитный, механический, вентиляционный. Магнитный шум низкого тона, характерный для всех магнитных систем переменного тока, вызывается периодическим притяжением друг к другу листов сердечника. Механический шум обычно связан с работой подшипников. Интенсивный электромагнитный шум издает электродвигатель при обрывах и неправильном соединении фаз обмотки статора. Вентиляционный шум связан с колебаниями воздушных струй и в большой степени зависит от частоты вращения машины.

Магнитный шум сразу пропадает после отключения двигателя от сети, вентиляционный затихает постепенно по мере останова двигателя. По этим признакам можно определить вид шума.

Поврежденный подшипник качения является источником шума повышенной интенсивности. Свистящий звук указывает на отсутствие смазки. Скрежет служит признаком наличия твердых частиц в смазке (смазка загрязнена), поломки сепаратора или задевания вала за крышки подшипника. Стук в подшипнике возникает при большом износе подшипника скольжения и разрушении шариков или тел качения, или поверхности беговых дорожек в кольцах подшипника качения.

Характерные неисправности машин постоянного тока обычно связаны с состоянием поверхности коллектора и токосъемного устройства. Наиболее часто встречающийся дефект — искрение всех или части щеток, иногда сопровождающееся сильным нагревом коллектора и щеток. Причинами этого явления могут быть:

неправильная установка щеток (траверса повернута относительно заводских меток);

плохое состояние щеток (обгары, облом краев щеток, плохое прилегание их к поверхности коллектора);

износ боковых граней или заедание щетки в обойме щеткодержателя;

слабое закрепление и вибрация щеточного бракета;

слабое или слишком сильное, или неодинаковое прижатие щеток к коллектору;

биение коллектора или выступание над его поверхностью изоляции или отдельных коллекторных пластин.

Замыкание между пластинами коллектора может произойти в результате наличия щеточной пыли между пластинами и заусенцев на них.

Контрольные вопросы

1. Какие основные задачи решает система ППР? Перечислите основные виды работ, выполняемые при различных видах ремонта.
2. Расскажите о цехах и заводах по ремонту электрооборудования. Какие функции выполняет комплектовочный участок в электроремонтном цехе?
3. Как проводят подготовку электрических машин к ремонту?
4. С помощью каких приспособлений и в какой последовательности производят разборку электрических машин различных типов?
5. Расскажите об основных неисправностях асинхронных двигателей и машин постоянного тока.

ГЛАВА V

РЕМОНТ КОЛЛЕКТОРОВ, КОНТАКТНЫХ КОЛЕЦ, ТОКОСЪЕМНОГО И ВЫВОДНОГО УСТРОЙСТВ

§ 29. Текущий ремонт коллекторов

В процессе эксплуатации машин постоянного тока необходимо обращать на них особое внимание, так как выход из строя во многом происходит по вине обслуживающего персонала из-за некачественного ухода или выполнения текущего ремонта.

Надежность машины постоянного тока во многом определяет нормальная работа скользящего контакта, которая, в свою очередь, зависит в основном от состояния рабочей поверхности коллектора.

В процессе эксплуатации в результате трения щеток происходит неравномерный износ рабочей поверхности коллектора, который нарушает ее цилиндрическую форму. При правильной эксплуатации износ коллекторов во время непрерывной работы находится в пределах от 0,1 до 2 мм в год. У коллекторов встречаются следующие неисправности: подгар пластин, замыкание пластин между собой и на корпус, поломка и распайка петушков, оплавление пластин в результате кругового огня на коллекторе и др. При возникновении одного из указанных повреждений машина постоянного тока должна быть остановлена для проведения соответствующего ремонта.

Нажатие отдельных щеток на коллектор не должно отличаться более чем на 10% от среднего значения, иначе через щетки с большим нажатием будет проходить значительно больший ток, чем через все остальные. Это приводит к повышенному их нагреву, а также неравномерному износу коллектора.

Во время работы происходит ослабление нажимных пружин в щеткодержателях. Причиной значительного ослабления может быть ток, проходящий через пружину или плохом контакте наконечников токопроводящих проводов щетки с бракетом или их обрыве. Ток нагревает пружину и приводит к ее отжигу.

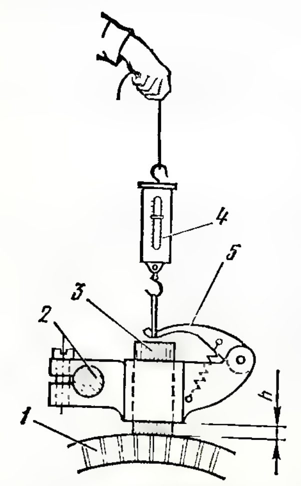


Рис. 49. Измерение усилия нажатия на щетку:
1 — коллектор, 2 — палец щеткодержателя, 3 — щетка, 4 — динамометр, 5 — рычажок

Нажатие на щетку *3* (рис. 49), создаваемое пружиной, измеряют динамометром *4*, закрепленным за рычажок *5* в том месте, где он давит на щетку. Между щеткой и коллектором *1* прокладывают лист бумаги. Плавно натягивая динамометр за крючок, замечают его показания в момент, когда бумага может быть без усилия вытянута. Оно будет соответствовать нажатию щетки на коллектор, которое должно быть выдержано в пределах, рекомендуемых для данной машины.

Зазор h между щеткодержателем и коллектором влияет на устойчивость щетки. При больших зазорах щетка перекашивается и затрудняется ее скольжение в обойме щеткодержателя. В крупных машинах величину h выдерживают в пределах 2—4 мм, в машинах меньшей мощности — от 1 до 2,5 мм.

Поверхность гнезда у щеткодержателя должна быть ровной и гладкой с едва заметными следами механической обработки. Зазор между щеткой и стенкой обоймы в направлении касательной к поверхности коллектора должен находиться в пределах 0,1—0,25 мм (большие значения для больших размеров щеток). Больший зазор приводит к перекосу щетки и затрудненному перемещению в радиальном направлении, что ухудшает ее контакт с коллектором. Перекос особенно вреден для реверсивных машин, так как при изменении направления вращения щетка наклоняется в противоположную сторону, что приводит к уменьшению ее поверхности прилегания к коллектору. В аксиальном направлении (по оси коллектора) допускается несколько больший люфт щетки в обойме (0,2—0,5 мм).

Последовательность операций при обработке рабочей поверхности коллектора приведена на рис. 50.

Глубокие подгары, кольцевые канавки, повышенное биение рабочей поверхности устраняют проточкой коллектора, снимая минимальный слой меди, необходимый для получения ровной поверхности. Коллекторы малых и средних машин протачивают на токарных станках, коллекторы крупных машин — при вращении якоря в собственных подшипниках, применяя специальные суппорты, которые устанавливают на траверсе или щите, сняв часть щеткодержателей.

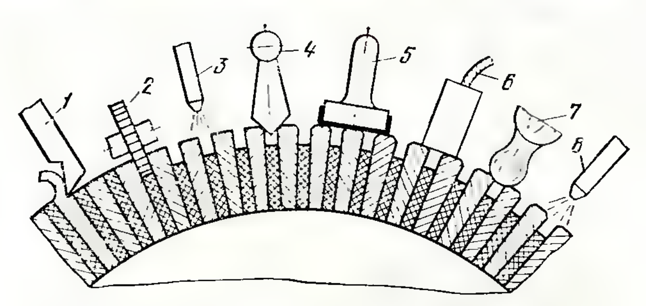


Рис. 50. Последовательность операций при обработке рабочей поверхности коллектора:
1 — обточка, 2 — продороживание, 3, 8 — продувка сжатым воздухом, 4 — снятие фасок, 5 — шлифовка и полировка, 6 — притирка щеток, 7 — чистка ветошью

Высокую чистоту получают окончательной обработкой поверхности алмазными резцами при малой глубине, малых подачах (0,02—0,05 мм/об) и высоких скоростях резания (200—100 м/мин). Частота вращения при обработке не должна превышать номинальную частоту вращения машины, якорь должен быть отбалансирован.

После проточки коллектор шлифуют мелкозернистой стеклянной шкуркой и полируют. Для шлифования применяют приспособление, в котором шкурку закрепляют на вогнутой поверхности деревянной колодки. Приспособление устанавливают в суппорте токарного станка и пружиной прижимают колодку к коллектору.

Шлифовку производят также точильным бруском, устанавливая его в суппорте как резец. Этот способ применяют для устранения неглубоких повреждений.

Рис. 51. Правильное (*а*) и неправильное (*б*) продороживание коллектора

Изоляцию между пластинами по мере износа и проточек коллектора выпиливают (продороживают) на глубину $h_{пр}$ (рис. 51, *а*), снимая на краях пластин фаски. Эту операцию выполняют при текущем ремонте специальной пилкой. Глубина продороживания у малых машин составляет от 0,5—0,8 мм, у средних — 1—1,5 мм, у крупных — до 2 мм. Удалять изоляцию на большую глубину недопустимо, так как в глубоких канавках скапливается щеточная пыль, которая может привести к замыканию коллекторных пластин.

Продороживание необходимо, чтобы обеспечить контакт щетки с коллектором, потому что миканит тверже меди и при износе пластин будет выступать над рабочей поверхностью. Нельзя оставлять

миканит у боковых стенок (рис. 51, *б*), так как контакт щетки с коллектором будет нарушаться при небольшом износе его поверхности.

Переносные устройства для продороживания позволяют механизировать этот трудоемкий процесс. Изоляцию между пластинами удаляют дисковой фрезой, расположенной в рабочей части *4* (рис. 52, *а*) устройства. Фреза приводится во вращение электродвигателем *1* с редуктором *6* через карданный или гибкий валик. Кнопка *3* включения и отключения электродвигателя для удобства размещена в правой рукоятке рабочей части, магнитный пускатель *2* — на электродвигателе.

Рабочая часть снабжена метрической шкалой для установки дисковой фрезы в зависимости от толщины коллекторной пластины,

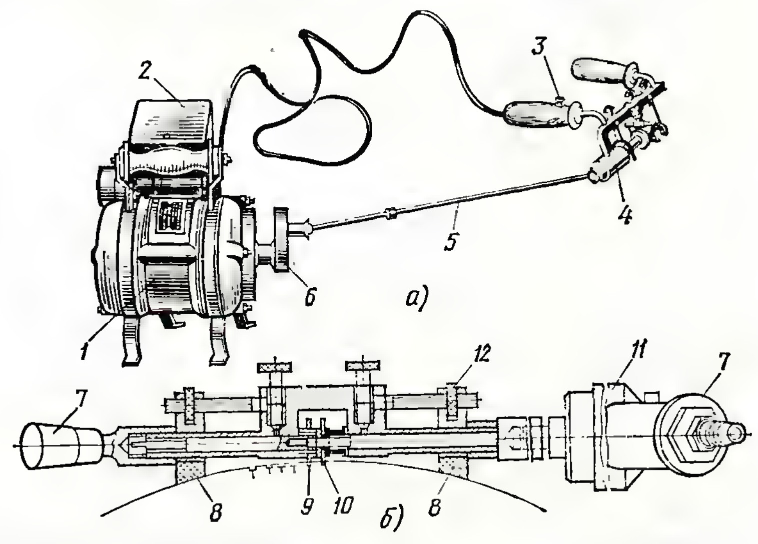


Рис. 52. Переносные устройства для продороживания коллекторов с приводом от электродвигателя (*а*) и с пневматическим приводом (*б*):

1 — электродвигатель, *2* — магнитный пускатель, *3* — кнопка, *4* — рабочая часть, *5* — карданный валик, *6* — редуктор, *7* — рукоятка, *8* — упоры, *9* — направляющий диск, *10* — фреза, *11* — пневматическая сверлильная машина, *12* — гайка

а также концентрическим зажимом, позволяющим регулировать глубину продороживания. Ширина фрезы подбирается в соответствии с толщиной изоляции между коллекторными пластинами.

Перед началом работы электродвигатель заземляют и подключают к сети. С помощью каретки и подвижных опор устанавливают необходимую глубину продороживания и настраивают рабочую часть в соответствии с толщиной коллекторной пластины.

Первую изоляционную прокладку продороживают вручную. Затем, взяв в руки рабочую часть приспособления, ставят ее направляющим ножом в продороженную канавку, включают электродвигатель и перемещают рабочую часть вдоль коллектора, продороживая вторую изоляционную прокладку. Нажимая кнопку, оста-

навливают электродвигатель, устанавливают нож в только что выбранную фрезой канавку и продороживают следующую прокладку.

Переносное устройство в 4 раза снижает затраты труда на продороживание коллектора по сравнению с ручным выпиливанием изоляции и намного повышает качество выполнения этой операции, поэтому оно находит широкое применение при ремонте электрических машин.

Продороживание с помощью приспособления выполняют в защитных очках, рукава одежды завязывают на кистях рук. Фреза

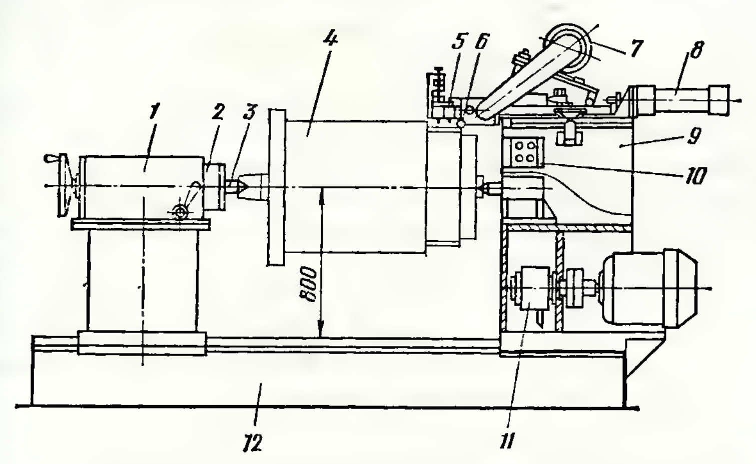


Рис. 53. Станок-полуавтомат для продораживания коллекторов

должна вращаться по часовой стрелке, если смотреть со стороны левой рукоятки. Направление вращения указано на корпусе устройства. Приступая к работе, надо убедиться в правильности направления вращения фрезы и прочности ее крепления.

Для продороживания применяют также пневматические приспособления. В качестве привода в них может быть использована пневматическая сверлилка *11* (рис. 52, *б*), которую встраивают непосредственно в рабочую часть приспособления. Карданный валик при такой конструкции отсутствует. Рядом с фрезой *10* на расстоянии, равном толщине пластины, устанавливают направляющий диск *9*. Упоры *8* из текстолита придают устойчивое положение приспособлению при движении его вдоль коллектора с помощью рукояток *7*. Гайки с накаткой *12* позволяют перемещать упоры для регулировки глубины врезания фрезы. Первую прокладку продороживают вручную, чтобы установить между пластинами направляющий диск.

При большом числе коллекторных пластин трудоемкую операцию по продороживанию в условиях электроремонтного цеха выполняют на специальных станках.

На рис. 53 представлен станок-полуавтомат для коллекторов ф 350—800 мм. На сварной станине *12* станка размещены передняя

9 и задняя *1* бабки. В корпусе передней бабки размещены насосная гидравлическая станция *11* для перемещения головки с фрезой *6*, шкаф с электрической и гидравлической аппаратурой, механизм *5* шагового поворота якоря на заданный угол и пульт управления *10*.

Фрезерная головка с электромеханическим приводом вращения фрезы закреплена на специальном суппорте, возвратно-поступательное движение которого в горизонтальной плоскости осуществляет гидроцилиндр *8*, а в вертикальной — винтовая пара.

Якорь *4* зажимают в центрах *3* станка, перемещая пиноль *2* вращением рукоятки. Фрезу подводят к коллектору, устанавливают заданную глубину продороживания и прорезают первые 7—8 канавок до попадания фиксатора в первый отфрезерованный паз, управляя станком с помощью кнопок на пульте. Затем станок переключают на автоматический режим.

Фрезерная головка станка оснащена специальной механической блокировкой, которая отключает механизм перемещения фрезы вдоль коллекторной пластины в том случае, если фиксирующее устройство не вошло в паз между пластинами. Таким образом, блокировка контролирует поворот якоря на заданный угол и предотвращает зарез пластин коллектора.

Продороживание коллектора сопровождается выделением большого количества мелкой слюдяной пыли и медной стружки, поэтому станок оснащают мощной системой вытяжной вентиляции с циклоном для сборки и сепарации отходов резки. Отсасывающий пылеприемник *7* располагают вблизи фрезы.

Для повышения качества продороживания устанавливают две фрезы на расстоянии друг от друга, равном толщине пластины коллектора. Таким образом, каждая канавка фрезеруется дважды: первая фреза осуществляет грубую обработку, вторая — чистовую.

Продороживание производят до шлифовки и полировки, чтобы не повредить окончательно отделанную поверхность. После продороживания коллектор продувают сжатым воздухом для удаления слюдяной и медной пыли.

Биение рабочей поверхности коллектора не должно превышать норм, установленных заводскими данными. Для коллекторов диаметром до 250 мм обычно допускается максимальное биение 0,02 мм, при ϕ 300—600 мм — от 0,03 до 0,04 мм. Биение проверяют индикатором часового типа, на конец стержня которого надевают плоский наконечник, чтобы углубления между пластинами не мешали измерениям.

Замыкание коллекторных пластин между собой и на корпус обычно происходит при пробое или прогорании изоляционных прокладок, манжеты, а также через грязь, металлическую стружку, пыль и капли припоя. Замыкание пластин в доступных для осмотра местах (наружное замыкание) устраняют расчисткой дорожек между пластинами и обработкой оплавленных или обгоревших пластин шабером. Для ликвидации внутренних замыканий требуется частичная или полная разборка коллектора.

Распайка петушков в месте их соединения с обмоткой происходит в результате чрезмерного нагрева якоря при работе машины или из-за некачественной пайки. Пластины, имеющие плохой контакт с обмоткой, темнеют. Для восстановления контакта петушки *3* (рис. 54, *а*) пропаивают, нагревая их дуговым паяльником с наконечником *2*.

Отдельные ленточные петушки ломаются в результате механических повреждений при ремонте машины. Массовая поломка может произойти вследствие сильных вибраций или под действием центробежных сил при ослаблении или сползании бандажей, стягивающих лобовую часть обмотки. Хрупкость меди в результате сильного нагрева при пайке может также явиться причиной обрыва петушков; этот дефект характерен при малых толщинах металла.

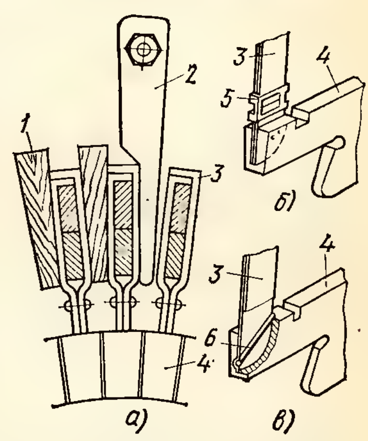


Рис. 54. Пайка (*а*) и ремонт петушков с помощью скобы (*б*) и штифта (*в*):

1 — распорные клинья между петушками, *2* — паяльник, *3* — петушок, *4* — коллекторная пластина, *5* — скоба, *6* — штифт

Метод ремонта поломанных петушков выбирают в зависимости от места излома. Если излом произошел на расстоянии не менее 10 мм от коллекторной пластины, части петушка скрепляют скобой *5* (рис. 54, *б*), место соединения пропаивают. Отломанный у самой поверхности коллектора петушок заменяют новым. Для ремонта в этом случае снимают бандаж с лобовых частей обмотки якоря со стороны коллектора и отпаивают петушок от обмотки. Узким крейцмейселем вырубают из коллекторной пластины оставшуюся в ней после поломки часть петушка. В пластине просверливают наклонное отверстие под штифт *6* (рис. 54, *в*). Новый петушок вставляют хвостовиком в прорезь пластины и надевают его головку на проводники обмотки. Затем забивают штифт в хвостовик, плотно заклинивая его в отверстии. Места соединений петушка к коллектору и обмотке пропаивают, после чего на лобовую часть наматывают бандаж.

Коллекторы, дефекты которых не могут быть устранены при текущем ремонте, заменяют новыми из складского запаса. Предусматривается обычно норма хранения на складе: 1 коллектор на 10 однотипных эксплуатируемых машин постоянного тока и 2 коллектора на 10 машин, находящихся в капитальном ремонте.

Коллекторы заменяют в случае пробоя с выгоранием изоляции и повреждением пяти и более коллекторных пластин и износа коллектора, не гарантирующего плановой наработки до очередного планового капитального ремонта (табл. 12).

Для изготовления пластмассовых корпусов используют термореактивные пресс-материалы К-6, АГ-4В, АГ-4С. Пресс-материал К-6 получают на основе резольной смолы и асбестового волокна и

Таблица 12. Допустимый износ пластин для машин постоянного тока серии ПН

Тип машины	Диаметр коллектора $D_к$, мм	Высота пластины $h_п$, мм	Допустимый износ Δ, мм	Тип машины	Диаметр коллектора $D_к$, мм	Высота пластины $h_п$, мм	Допустимый износ Δ, мм
ПН 2,5	52	15,5	3,0	ПН-100	170	30	6,0
ПН-5	64	15,5	3,0	ПН-145	170	30	6,0
ПН-10	80	18,5	3,5	ПН-205	200	—	7,0
ПН-17,5	80	18,5	3,5	ПН-400	200	—	7,0
ПН-28,5	125	21,5	4,0	ПН-550	250	—	8,0
ПН-45	125	21,5	4,0	ПН-1320	350	—	10,0
ПН-68	125	21,5	4,0				

применяют для низковольтных коллекторов малых размеров. Пресс-материал АГ-4 изготовляют на основе фенолоформальдегидной смолы со стекловолокнистым наполнителем. Он — один из лучших пластмасс с высокими механической и электрической прочностью и стойкостью. Применение пластмассы удешевляет изготовление коллекторов и сокращает расход дефицитных слюдяных материалов, меди и черных металлов.

При текущем ремонте устраняют следы перекрытия, прожоги пластмассы и небольшие трещины.

Незначительные следы перекрытий на поверхности пластмассы зачищают стеклянной бумагой, затем протирают ветошью и покрывают не менее двух раз эмалью воздушной сушки ГФ-92-ХК. Прожоги на значительной площади удаляют проточкой корпуса на токарном станке на глубину 2—3 мм. Обработанную поверхность шлифуют стеклянной бумагой, обезжиривают ветошью, смоченной в бензине или ацетоне, и покрывают эмалью.

Трещины глубиной до 3 мм и прогары пластмассы удаляют сверлением или расточкой. Обработанные места очищают от пыли и загрязнений и заполняют эпоксидным компаундом холодного отверждения. Коллектор выдерживают 24 ч на воздухе и 5—6 ч в печи при 120 °С, после чего отремонтированные поверхности зачищают, шлифуют и покрывают эмалью.

§ 30. Ремонт контактных колец

Сильное искрение щеток на контактных кольцах встречается реже, чем на коллекторе. Оно бывает обычно при пуске или торможении двигателя, когда ток в несколько раз превышает номинальный.

Контактные кольца должны быть прочно закреплены на валу электрической машины, не иметь забоин, подгаров и неравномерной выработки. Нормальное биение контактных колец составляет 0,03—0,05 мм; предельно допустимое при диаметре до 125 мм — 0,1, а при диаметре выше 125 мм — 0,15 мм. Изоляцию колец друг от друга и от втулки проверяют мегаомметром. Сопротивление изоляции

между кольцами должно быть не менее 4 МОм при измерении мегаомметром на напряжение 1000 В. Замыкание между кольцами или между кольцом и валом происходит вследствие повреждения изоляции выводных шпилек и втулки.

Незначительные повреждения рабочей поверхности колец (подгары, потемнения) зачищают стеклянной бумагой; более глубокие неровности устраняют проточкой колец с последующей шлифовкой и полировкой.

На контактных кольцах могут появиться матовые пятна, которые вызывают искрение щеток, при этом сами пятна сбгорают и становятся шероховатыми, в результате чего искрение усиливается. Пятна возникают в результате электрохимических явлений под действием тока от гальванической пары при контакте щетки с неподвижным кольцом во влажной атмосфере. Чтобы предупредить их появление, под щетки при длительном простое машины подкладывают прокладки.

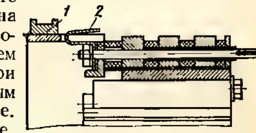


Рис. 55. Короткозамыкающее приспособление с пружинными контактами

В синхронных машинах большему износу подвержено отрицательное кольцо и щетки на нем. Поверхность кольца становится матовой и шероховатой. Интенсивный износ вызывается переносом частиц металла с отрицательного кольца на щетку. Шероховатость поверхности устраняют проточкой и шлифовкой. Износ уменьшают, периодически изменяя полярность колец.

Кольца, отлитые из бронзы, могут иметь на поверхности поры и усадочные раковины, которые приводят к неравномерной выработке и вибрации щеток.

При текущем ремонте контактные кольца очищают от пыли, которая снижает сопротивление изоляции и может явиться причиной пробоя. Торцовые части колец и промежутки между ними покрывают эмалью, так как на гладкой поверхности пыль удерживается гораздо труднее. В случае пробоя изоляции между кольцами или изоляции колец от втулки контактные кольца снимают с вала и отправляют в капитальный ремонт.

В старых конструкциях асинхронных двигателей приходится ремонтировать приспособление для замыкания колец и подъема щеток. Чаще всего у приспособления изнашиваются сухарики хомутика, передвигающего короткозамыкающее кольцо *1* (рис. 55). Износ неподвижных сухариков происходит из-за их трения о вращающееся кольцо, у которого по этой же причине срабатываются борта. При ремонте круглые сухарики заменяют прямоугольными со скругленными краями, которые, имея большую поверхность контакта с кольцом, меньше истираются. Кольца восстанавливают наплавкой и проточкой, при значительном износе заменяют новыми.

Слабым местом приспособления являются также контакты *2*. Все три контакта при перемещении кольца *1* должны одновременно

соприкасаться с ним. Если это условие не выполняется, возникает дуга, разрушающая контактные поверхности. Потемнения и небольшие подгары на контактах зачищают стеклянной бумагой или напильником. Изношенные и обгоревшие пружинные контакты заменяют новыми.

Капитальный ремонт контактных колец производят при их износе, ослаблении посадки на втулку, выгорании контактных шпилек и пробое изоляции. Втулку обычно приходится заново переизолировать, так как во время съема колец изоляция повреждается.

Изношенные контактные кольца заменяют новыми, выточенными из стальных, чугунных, бронзовых, медных труб или отливок, сохраняя марку материала.

У контактных колец с горячей посадкой очищенную от старой изоляции поверхность втулки изолируют заново несколькими слоями формовочного миканита или стекломиканита, нарезая полосы шириной, равной длине втулки. Полосы смазывают клеящим лаком и просушивают на воздухе. Подогретую в сушильном шкафу до 90—100 °С втулку туго обматывают изоляцией, обертывают двумя слоями кабельной бумаги, стягивают хомутом из листовой стали и опять нагревают до 120—130 °С. Вынув втулку из шкафа и подтянув на ней хомут, ее снова нагревают и выдерживают при 150—180 °С не менее 1 ч для запечки изоляции. После подтяжки хомута на горячей втулке ее охлаждают. Проточку производят остро заточенным резцом по направлению намотки изоляции, выдерживая заданный натяг.

Опрессовку изоляции втулки при больших количествах однотипных изделий производят в коническом кольце с плашками, подобном тому, которое применяется для опрессовки коллекторов.

Кольца насаживают на втулку нагретыми до 350—450 °С и охлаждают струей воздуха. После проверки изоляции на электрическую прочность их протачивают, оставляя припуск на окончательную обработку контактных колец ротора. Изоляцию втулки покрывают электроизоляционной эмалью и после сушки на воздухе бандажируют хлопчатобумажным шнуром или киперной лентой, чтобы предотвратить выветривание чешуек слюды.

Контактные шпильки при выгорании заменяют новыми, изолируют миканитом или бакелизированной бумагой, бандажируют проволокой и помещают в сушильный шкаф. После запечки изоляции проволоку снимают. Шпильки к кольцам приваривают или припаивают твердыми припоями.

§ 31. Ремонт токосъемного устройства

Щетки при износе, когда их высота становится примерно равной 40—50% первоначальной, заменяют новыми той же марки (табл. 13). Все щетки заменяют одновременно.

К характерным повреждениям щеток следует отнести бороздки на контактной поверхности, образующиеся в результате неравномерного износа колец, щеток по высоте и ширине вследствие от-

Таблица 13. **Щетки электродвигателя АК2 и АОК2**

Габарит двигателя	Марка щетки	Высота щетки, подлежащей замене, мм	Размеры новой щетки, мм
4	МГ-4	12	8×12,5×25
5	МГ-4	12	10×16×25
6	МГ-2	18	10×20×32
7	МГ-6	20	12,5×25×40
8	МГ-4	20	12,5×25×40
9	МГ-4	20	12,5×25×40

клонения щеткодержателя от нормального положения, выкрашивание нижних кромок щеток, приводящее к искрению, разрушение щеток от вибраций.

При дефектации щеток и щеткодержателей проверяют: усилие, с которым пружина прижимает щетку к коллектору или кольцам; сопротивление изоляции пальцев щеткодержателей; износ щеток; качество заделки токопроводящего провода в щетку; жесткость крепления траверсы и состояние антикоррозионных покрытий на пружинах щеткодержателей.

Новые щетки имеют плоские грани. Чтобы увеличить контактную поверхность, их притирают (пришлифовывают) к коллектору или кольцам. Притирку непосредственно в машине выполняют стеклянной бумагой *3* (рис. 56, *а*), которую гладкой стороной укладывают на коллектор *2* и протягивают под щеткой *1*, прижимая к коллектору по дуге, чтобы не подрезать края щеток. Весь комплект щеток в машине можно притереть, вращая коллектор, обернутый бумагой по всей окружности.

Рис. 56. Притирка щеток (*а*) и схема отыскания нейтрали (*б*)

Для пришлифовки применяют стеклянную шкурку с зернами средней крупности. При мелких зернах она быстро засоряется графитной пылью, крупные зерна дают неровную поверхность щеток. Нельзя для шлифовки использовать материалы из наждака или карборунда. Их зерна въедаются в тело щетки и царапают коллектор.

У нереверсивных машин притирку производят при рабочем направлении вращения или протяжкой бумаги в том же направлении.

Притирка в машине загрязняет ее щеточной пылью и на эту операцию затрачивается значительное время. В условиях ремонтной мастерской эту операцию выполняют вне машины на приспособлении, которое повышает производительность труда и культуру производства. Щетки малых машин обрабатывают шлифовальным кругом с диаметром, равным диаметру коллектора, при диаметре кол-

лектора 600 мм и более — с помощью вращающегося барабана с закрепленной на нем стеклянной бумагой. Стационарная установка позволяет оборудовать рабочее место эффективной вытяжной вентиляцией.

Окончательно щетки прирабатываются к коллектору после сборки машины при работе ее на холостом ходу. Кабельные наконечники токопроводящих проводов щетки должны быть надежно прижаты к щеткодержателям. При плохом контакте ток от щетки будет проходить в точках соприкосновения ее со стенками гнезда. Этот ненадежный и прерывистый из-за вибраций контакт приводит к обгоранию гнезда. Другой путь тока — через пружину — может привести к потере ею упругих свойств в результате нагрева. Из-за неравномерного распределения тока между щетками может произойти перегрев и выплавление токопроводящих проводов. В этом случае при большом токе стенки гнезда спекаются со щетками.

Щеточные пальцы должны быть прочно закреплены в траверсе и располагаться параллельно оси машины. Параллельность проверяется по положению краев щеток относительно края коллекторной пластины. Траверсу при сборке ремонтируемой машины устанавливают по рискам на ней и подшипниковом щите, которые наносят при выпуске машины с завода-изготовителя. После капитального ремонта проверяют установку щеток на электрические нейтрали. При точном расположении на нейтралях щетки замыкают накоротко секции обмотки, расположенные вне поля главных полюсов, что необходимо для получения безыскровой коммутации. Существует несколько методов отыскания нейтрали. При индукционном методе к обмотке возбуждения неподвижной машины через реостат подключают аккумуляторную батарею (рис. 56, *б*). К зажимам якоря присоединяют милливольметр. Замыкая и размыкая ключ *К* и перемещая траверсу, находят такое ее положение, при котором отклонение стрелки прибора будет наименьшим. Правильность положения найденной нейтрали проверяют при нескольких положениях якоря, поворачивая его от руки в одном и том же направлении, чтобы избежать влияния перемещения щеток в гнездах щеткодержателей. После закрепления траверсы снова проверяют установку щеток на нейтрали.

Правильность установки траверсы можно проверить при работе машины вхолостую. При расположении щеток на нейтрали генератор выдает максимальное напряжение, у двигателя частота вращения в обоих направлениях будет одинакова.

Однако следует иметь в виду, что этот способ неприменим для двигателей постоянного тока с последовательным возбуждением.

К наиболее характерным повреждениям щеткодержателей следует отнести: оплавление обоймы при круговом огне на коллекторе; разъедание внутренней поверхности окна в результате прохождения тока от щетки через щеткодержатель при повреждении или плохом контакте токопроводящего провода; значительный износ окна вследствие биения коллектора или колец (в этом случае изнашиваются также и боковые поверхности щеток).

Штампованные щеткодержатели обычно выходят из строя из-за отламывания обоймы, в которой находится щетка. Их не ремонтируют, а заменяют новыми. У клепаных конструкций при ремонте ослабленные заклепки подтягивают или заменяют новыми. Изношенные обоймы заменяют запасными, приклепывая их к держателям.

Наиболее широкое распространение получили литые щеткодержатели. Они отличаются высокой износостойкостью и редко выходят из строя. Изношенные окна литых щеткодержателей ремонтируют наплавкой слоя латуни на поверхности с последующей механической обработкой. Пружины и другие мелкие детали щеткодержателей при ремонте заменяют новыми. Пальцы и бракеты повреждаются сравнительно редко, как правило, в результате случайных ударов.

§ 32. Ремонт контактных соединений и выводных устройств

Одним из важнейших условий, определяющих надежность электроустановок, является качество выполнения электрических контактов. Поверхности соприкосновения двух проводников, образующих электрический контакт, не бывают идеально ровными. Касание их происходит в отдельных площадках. Поэтому в месте перехода тока из одного проводника в другой возникает переходное сопротивление, которое зависит от физических свойств соприкасающихся материалов, состояния их поверхностей (загрязнения, наличие оксидов), силы сжатия проводников, температуры и др. При увеличении сжатия проводников микронеровности сминаются, при этом увеличиваются число соприкасающихся поверхностей и их площадь. Это приводит к уменьшению переходного сопротивления.

Под воздействием окружающей среды поверхность металла покрывается оксидной пленкой, плохо проводящей ток. Медные контакты обычно покрывают оловом, пленка на котором легко разрушается при сжатии контакта.

Контактные соединения являются ослабленным местом в электрической цепи. Поэтому разъемные соединения, выполняемые с помощью болтов, винтов и гаек, по возможности заменяют паяными, сварными или опрессованными.

Болты, винты и гайки ответственных контактных соединений затягивают ключами с регулируемым крутящим моментом. Нормальное контактное давление устанавливается с таким расчетом, чтобы было обеспечено наиболее низкое переходное сопротивление без пластических деформаций крепежных деталей, наконечников и шин.

Контактные поверхности перед монтажом очищают от оксидов и загрязнений. От коррозии их защищают, смазывая нейтральным жиром. Крепежные детали (болты, гайки, шайбы, пружины) применяют с защитным цинковым или кадмиевым покрытием.

Выводы от обмоток в электрических машинах мощностью до 100 кВт выполняют обычно гибким изолированным проводом *12*

(рис. 57, *а*). К проводу припаивают наконечник. В микромашинах, где для наконечников не хватает места, жилу гибкого провода изгибают в виде кольца *4*, которое надевают на зажим *6* изоляционной колодки *3* и закрепляют гайкой *10* с шайбой *5*. Под гайку устанавливают контровочную пружинную шайбу *11*. Колодку крепят на корпусе *1* шпилькой *8* с гайкой и закрывают крышкой *9*, которую

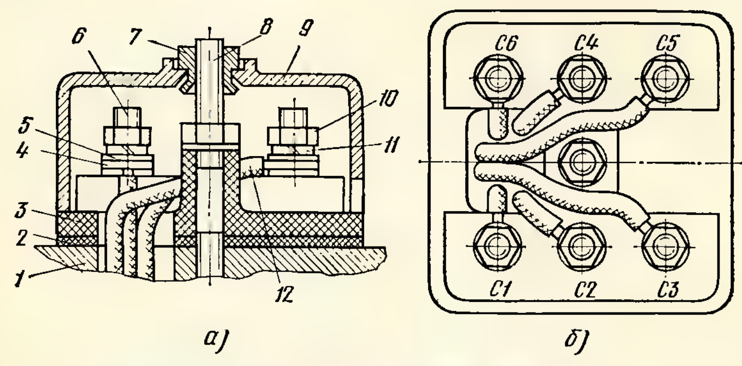


Рис. 57. Коробка выводов микромашины:
а — продольный разрез, *б* — вид сверху (без крышки)

притягивают к колодке гайкой *7*. Между корпусом и колодкой устанавливают уплотняющую прокладку *2*. На колодку наносят обозначения выводов обмоток (рис. 57, *б*).

В некоторых машинах колодка зажимов не предусматривается, выводы выполняют гибкими изолированными проводами с наконечниками, маркировку наносят на обжимах, надеваемых на провода. При эксплуатации обжимы могут быть утеряны, поэтому при осмотрах и ремонтах надо следить за их плотным закреплением на выводах.

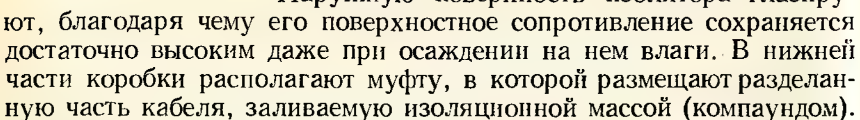


Рис. 58. Установка выводов от высоковольтной обмотки

В высоковольтных машинах кабельный наконечник *3* (рис. 58), припаянный к гибкому выводу *5* от обмотки, устанавливают на зажиме *4*, закрепленном на фарфоровом изоляторе *2*, который крепится к дну коробки выводов *1*. Изолятор делают с кольцевыми выступами, которые увеличивают длину пути поверхностного разряда от зажима до корпуса. Наружную поверхность изолятора глазируют, благодаря чему его поверхностное сопротивление сохраняется достаточно высоким даже при осаждении на нем влаги. В нижней части коробки располагают муфту, в которой размещают разделанную часть кабеля, заливаемую изоляционной массой (компаундом).

Выводные устройства двигателей серии 4А имеют несколько исполнений в зависимости от способа ввода питающего кабеля, его вида и соединения с выводами статорной обмотки. К ним можно присоединять гибкий металлический рукав и кабели с медными или

алюминиевыми жилами и оболочкой из резины или пластиков. К двигателям мощностью 30 кВт и выше на напряжение 220 В, а также к двигателям с высотами оси вращения 50—63 мм присоединяют кабели только с медными жилами. Ввод кабеля предусмотрен через один или два штуцера, а также через удлинитель под сухую разделку или заливку кабельной массой. При высотах оси вращения 50—250 мм выводное устройство располагают на верху двигателя, при бо́льших высотах — сбоку.

В выводном устройстве (рис. 59) разворачивается только патрубок с фиксацией через 90 или 180°. Колодка зажимов остается неподвижной вместе с закрепленными на ней выводами статора. Это

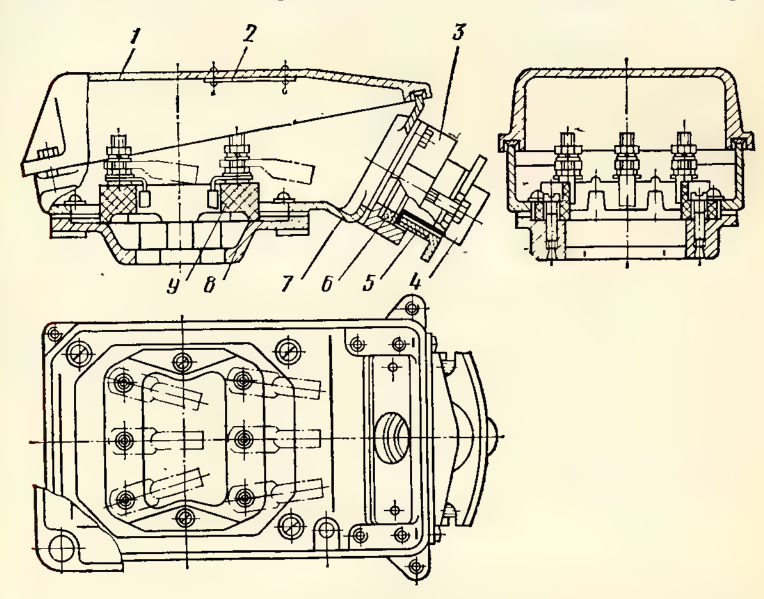


Рис. 59. Конструкция выводного устройства двигателей серии 4А с высотой оси вращения 160—250 мм:
1 — крышка, *2* — табличка-схема, *3* — гнездо, *4* — предохранительная втулка, *5* — уплотнительная втулка, *6* — уплотнительное кольцо, *7* — корпус, *8* — патрубок, *9* — колодка зажимов

дает возможность легко осуществить поворот выводного устройства непосредственно при установке двигателя на месте эксплуатации и гарантирует правильность подключения выводов обмотки.

При осмотре машины проверяют колодки зажимов, контактные соединения, изоляторы. Колодки с трещинами, обуглившимися местами, подгоревшими зажимами заменяют новыми. При обнаружении следов перегрева контактных соединений выясняют причину их ненормального состояния, зачищают контактные поверхности на наконечниках и зажимах, проверяют наличие пружинных шайб и гаек. Отсутствующие и поврежденные детали заменяют новыми. Проверяют качество пайки кабельных наконечников к проводам и целостность жил проводов в месте присоединения наконечников.

Одной из причин перегрева контактов может быть слабая их затяжка.

В электрических машинах на напряжение выше 1000 В пробой в коробке выводов на корпус может произойти по увлажненной или загрязненным поверхностям изолятора. Выводные концы обмотки крепят на изоляторе в таком положении, чтобы они не соприкасались с коробкой и корпусом машины. Поверхность изоляторов очищают от загрязнений и протирают сухой ветошью.

У фарфоровых изоляторов при эксплуатации могут появиться сколы ребер и граней, трещины и царапины на глазурованной поверхности. Если поверхность скола не превышает 2 см², его края зашлифовывают и покрывают бакелитовым лаком. Более крупные сколотые части приклеивают. В машинах, работающих в увлажненной среде, склеивание не допускается, так как поверхность клеевого шва вследствие гигроскопичности становится токопроводящей; изоляторы заменяют новыми. Изоляторы со значительными повреждениями также заменяют новыми.

Контрольные вопросы

1. Какие работы выполняют при текущем ремонте коллектора?
2. Как производится обработка рабочей поверхности и продороживание коллектора?
3. В каких случаях необходим капитальный ремонт коллектора и как он производится?
4. Расскажите о неисправностях и ремонте коллекторов на пластмассе.
5. Какие неисправности наблюдаются в контактных кольцах и каковы способы их устранения?
6. Какие неисправности характерны для токосъемного и выводного устройств и как их устраняют?
7. Какими способами достигается надежность электрического контакта?

ГЛАВА VI

РЕМОНТ МЕХАНИЧЕСКИХ ЧАСТЕЙ И ШИХТОВАННЫХ СЕРДЕЧНИКОВ

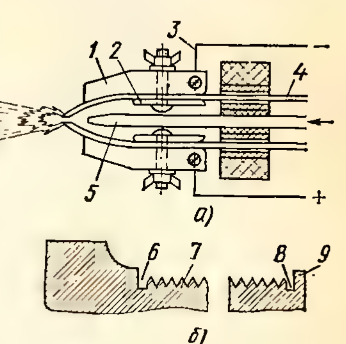
§ 33. Восстановление изношенных поверхностей

Изношенные металлические поверхности восстанавливают газотермическим напылением (металлизацией), автоматической наплавкой под слоем флюса, вибродуговой наплавкой и др.

Металлизация заключается в напылении на поверхность восстанавливаемой детали расплавленного металла с помощью газовой струи. Частицы при ударе сцепляются с поверхностью и друг с другом, образуя на детали слой покрытия. Процесс напыления не вызывает существенного повышения температуры детали, что исключает ее деформацию. Напыляемый металл расплавляется газовым пламенем или электрическим током.

В электродуговом аппарате проволочные электроды *4* (рис. 60, *а*), находящиеся под напряжением, расплавляются электрической дугой в точке их скрещивания на выходе. Жидкий металл распыляется струей воздуха из сопла *5*. Ток к электродам подводится по проводам *3* через направляющие пластины *1*. Электроды прижимаются к пластинам планками *2*. Электроды перемещаются под воздействием воздушной турбины, которая размещается в аппарате.

Рабочее место для нанесения газотермических покрытий оборудуют системой вытяжной вентиляции, обеспечивающей удаление выделяющейся при работе пыли, продуктов сгорания газов и окисдирования напыляемых материалов. Для металлизации небольших деталей используют кабины, подключаемые к системе отсасывающей вентиляции. Сжатый воздух подается от общезаводской воздушной сети или от отдельного компрессора. Он не должен содержать влаги и масляных загрязнений. Для очистки его пропускают через маслоотделители, устанавливаемые непосредственно у рабочего места или компрессора. Для питания аппаратов необходим постоянный ток. Источниками его служат преобразовательные или выпрямительные установки, применяемые для сварочных работ и обеспечивающие плавную регулировку напряжения, необходимую для стабильного горения дуги.



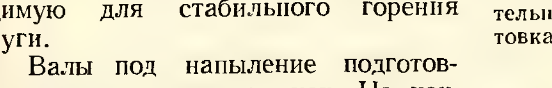


Рис. 60. Устройство распылительной головки (*а*) и подготовка поверхности под напыление (*б*)

Валы под напыление подготовляют на токарных станках. На концах шейки протачивают замыкающие канавки *6*, *8* (рис. 60, *б*) шириной 1,5—2 мм и глубиной 2—2,5 мм для выхода резца при нарезке резьбы. Со стороны торца вала оставляют борт *9* для предохранения напыленного слоя от выкрошивания при ударах. Шейку вала между канавками протачивают для устранения неравномерной выработки, после чего нарезают «рваную» резьбу *7* с шагом 0,75—1,25 мм. Ее получают, устанавливая резец ниже оси вращения детали на 4—5 мм. При рваной резьбе образуется много заусенцев и неровностей, которые способствуют хорошему сцеплению напыленного слоя с поверхностью детали. Аппарат перемещают вдоль вала при вращении его с частотой 20—60 об/мин, за каждый проход напыляется слой толщиной 0,03—0,2 мм. Толщина слоя после механической обработки должна быть 0,7—1 мм на сторону. Обработку напыленных шеек производят резцами на токарных станках или шлифованием. Припуск на обточку должен составлять 0,5—1,5 мм в зависимости от диаметра шейки.

Автоматическую и полуавтоматическую наплавку производят под слоем флюса или в среде защитного газа, которые предохраняют расплавленный металл шва от воздействия воздуха. Флюсы,

кроме того, расплавляясь в процессе сварки, улучшают химический состав и механические свойства наплавленного слоя. Флюс представляет собой сыпучее вещество, состоящее из зерен размером 0,5—3,5 мм. В качестве защитных газов используют диоксид углерода, аргон и гелий.

Автоматическую электродуговую наплавку под флюсом производят на специальной установке, которая обеспечивает вращение детали и подачу проволоки и флюса из бункера в зону сварки.

Вибродуговая наплавка является разновидностью электродуговой сварки и осуществляется электродом, вибрирующим с частотой 20—100 Гц. Жидкий металл с электрода переносится мелкими

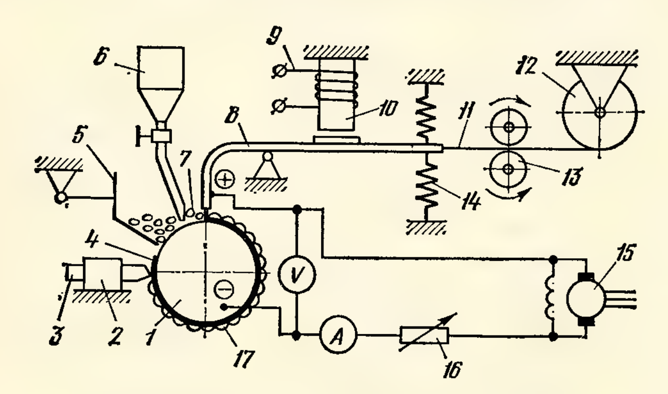


Рис. 61. Схема вибродуговой наплавки

каплями, благодаря чему деталь нагревается меньше, чем при обычной электродуговой наплавке, и меньше деформируется. Вал *1* (рис. 61) закрепляют в центрах токарного станка. На суппорте устанавливают вибродуговую головку. Электродная проволока *11* подается из кассеты *12* роликовым механизмом *13* через мундштук *8*. Вибрирование электрода осуществляется устройством, состоящим из сердечника *10*, обмотки *9* и пружины *14*. Флюс *7* самотеком подается в зону наплавки из бункера *6* и удерживается на поверхности вала заслонкой *5*. Наплавление слоя *4* осуществляется по винтовой линии с непрерывным удалением шлаковой корки *17* резцом *3*, закрепленным с другой стороны суппорта в держателе *2*. Источником питания сварочной дуги служит преобразователь *15*. Ток регулируется дросселем *16*.

Поверхности, подлежащие наплавке, очищают металлической проволочной щеткой и наждачной бумагой, а затем обезжиривают. Шпоночные пазы и отверстия закрывают медными или графитовыми заглушками или замазывают стержневой смесью.

Посадку подшипников качения на валу восстанавливают также с помощью гальванических покрытий одной из сопрягаемых поверхностей: в микромашинах хромируют шейки валов, у крупных подшипников хромируют или меднят посадочные поверхности. На

поверхность наносят слой хрома (или меди) такой толщины, которая обеспечивает требуемый натяг.

Износостойкость посадочных поверхностей повышают методом поверхностного упрочнения. Валы обкатывают на токарных станках, закрепляя в суппорте вместо резца специальное приспособление — шариковую накатку (рис. 62). Шарик *2* с определенным усилием прижимается к детали, сминая при ее вращении микронеровности и повышая чистоту и твердость поверхностного слоя. Для уменьшения трения шарик упирается в два шарикоподшипника *4*, закрепленных на осях *3* в корпусе *7*. Шарик удерживается от выпадения обоймой *5*. Продольная подача при обкатке выбирается в пределах 0,1—0,3 мм/об. Диаметр вала после обкатки уменьшается за счет смятия (заглаживания) неровностей.

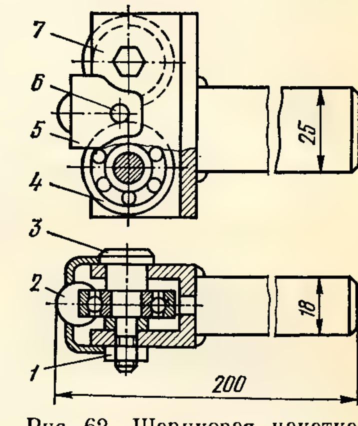


Рис. 62. Шариковая накатка:
1 — гайка, *2* — шарик, *3* — ось, *4* — шарикоподшипник, *5* — обойма, *6* — винт, *7* — корпус

Поверхностное упрочнение деталей производят дробеструйным наклепом, алмазным выглаживанием и другими методами. При дробеструйном наклепе дробинки под воздействием воздушной струи или лопаток вращающегося ротора с большой скоростью ударяются о деталь, изменяя физические свойства ее поверхности. Алмазное выглаживание осуществляется соприкосновением скругленного алмазного наконечника с вращающейся деталью.

§ 34. Ремонт валов

У валов электрических машин встречаются следующие дефекты: повреждение приводного конца, износ шеек под подшипники, искривление оси, ослабление посадки сердечника, излом.

Неглубокие забоины на торце вала устраняют, снимая слой металла на токарном станке. Если уменьшение длины недопустимо, на торец электросваркой сначала наплавляют слой металла. Наплавку ведут от оси вала по спирали (рис. 63, *а*), чтобы уменьшить влияние термических напряжений. Забоины и вмятины на витках резьбы устраняют плашками или резцом на токарном станке. Сорванную резьбу наплавляют и нарезают заново.

Износ посадочных поверхностей и задиры на них происходят при съеме напрессованных на вал деталей. Износ может появиться также из-за свободной посадки на вал сопрягаемой детали. При небольшом количестве забоин и задиров выступающие места сошлифовывают. Если дефекты превышают 20% посадочной поверхности, вал ремонтируют, наплавляя металл электросваркой или методом металлизации. При сварке, если наплавляемая поверхность закан-

чивается высоким уступом, его стачивают на конус (рис. 63, *б*). Без такой подготовки в месте перехода при сварке возникают значительные термические напряжения, которые могут привести к поломке вала при эксплуатации. Для уменьшения коробления вала наплавляемые валики располагают параллельно оси, и каждый последующий валик *1* и *2*, *3* и *4* накладывают диаметрально противоположно предыдущему. После наварки вал обрабатывают на токарном станке и шлифуют.

Шейки валов изнашиваются при монтаже и демонтаже подшипников, а также при проворачивании внутреннего кольца подшипника на валу. Интенсивный износ с задирами происходит при заклинивании подшипника. На износ большое влияние оказывают шероховатость и твердость поверхности. Шероховатость поверхности

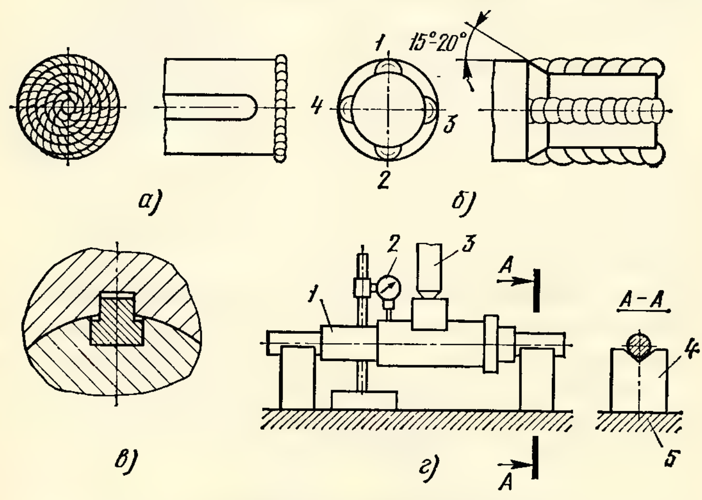


Рис. 63. Исправление дефектов валов:
а — наплавка торца, *б* — наплавка посадочной поверхности, *в* — ремонт шпоночного соединения, *г* — правка вала

характеризуется высотой неровностей R_z и средним арифметическим отклонением профиля R_a. Высота неровностей R_a для шеек валов под подшипники качения в соответствии со стандартом должна быть не более 2,5 мкм * для подшипников нулевого класса при внутренних диаметрах подшипников выше 80 мм и 1,25 мкм ** при диаметрах до 80 мм. Для более высоких классов подшипников высота неровностей должна быть еще меньше. Неровности при монтаже подшипников сминаются, что приводит к ослаблению посадки.

Для шеек валов под подшипники скольжения характерно появление задиров из-за плохой подачи смазки к поверхностям скольжения и попадания в подшипник мелких твердых частиц.

Изношенные поверхности валов восстанавливают металлизацией с последующей механической обработкой. Для валов машин, работающих со значительными знакопеременными и ударными нагрузками, применяют вибродуговую наплавку, которая обеспечивает более прочное сцепление наращиваемого слоя с основным металлом.

---

* Соответствует шероховатости поверхности $\nabla 6$ по старому обозначению.
** Соответствует шероховатости поверхности $\nabla 7$ по старому обозначению.

В шпоночных соединениях изнашиваются как сами шпонки, так и пазы под них. Наиболее вероятная причина — ослабление посадки охватывающей детали (шкива, муфты) на валу машины. Боковые поверхности шпоночных пазов разрабатываются чаще всего у двигателей, работающих с частыми реверсами.

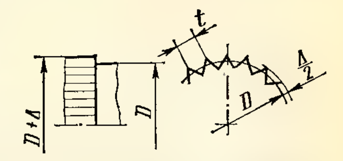


Рис. 64. Прямая накатка на валах

Изношенные шпонки заменяют новыми, пазы обычно восстанавливают электродуговой сваркой. На боковых стенках наваривают слой металла, затем производят механическую обработку (фрезерование, строжку), выдерживая точные размеры. Иногда ремонт осуществляют без наварки, расширяя и углубляя паз, переходя на больший размер шпонки и дорабатывая паз в ответной детали. Применяя специально изготовленную ступенчатую шпонку (рис. 63, *в*) и прорезая новую шпоночную канавку, паз в ответной детали можно сохранить. Новый паз в валу смещают на четверть окружности относительно старого.

Искривление валов встречается обычно у электродвигателей малой мощности. Валы правят на тихоходном гидравлическом или винтовом прессе после выпрессовки из сердечника или без разборки ротора. Вал *1* (рис. 63, *г*) концами кладут на призмы *4*, установленные на столе *5* пресса, и, поворачивая его вокруг оси, устанавливают с помощью индикатора *2* выпуклостью вверх против штока *3* пресса. Правку производят в несколько приемов, контролируя биение после каждого нажима пресса.

Роторы с ослабленной посадкой сердечника ремонтируют, заменяя изношенный вал новым или восстановленным. Изношенные поверхности вала восстанавливают напылением или накаткой зубчатым роликом на токарном станке. Накатка необходима для увеличения диаметра, поэтому ее делают с достаточно большой глубиной. Шаг накатки t выбирается в зависимости от диаметра вала. После накатки первоначальный диаметр D (рис. 64) увеличивается на $\Delta(0{,}25 \div 0{,}5)t$. После накатки поверхность шлифуют, снимая неровности и выдерживая заданный размер. На вал в процессе накатки передаются значительные радиальные усилия, поэтому недостаточно жесткий вал накатывают с люнетами, которые предохраняют его от изгиба.

§ 35. Ремонт корпусов и щитов

Корпуса повреждаются относительно редко. Наиболее распространенный дефект чугунных корпусов (станин) — облом лап из-за ударов при небрежной транспортировке или прижиме к неровному основанию при монтаже машины. Чаще происходит срыв или износ

резьбовых отверстий и износ посадочных мест под подшипниками качения в щитах. В чугунных щитах возможно также появление трещин.

Повреждения корпусов и щитов в машинах современных серий резко сократились. Это объясняется широким применением сварных конструкций из стального проката, а также повышением культуры обслуживания и ремонта электрических машин. Сокращение номенклатуры деталей (щитов, подшипниковых крышек и т. д.) за счет унификации в единых сериях делает более целесообразной замену поломанных деталей новыми, запас которых постоянно хранится на ремонтном заводе. Это ускоряет процесс ремонта и повышает качество отремонтированных машин.

Заварку трещин, отверстий, приварку отломанных частей обычно производят электродуговой сваркой. Газовая сварка в основном применяется для заварки трещин в чугунных щитах. Перед заваркой трещин деталь обезжиривают и очищают от ржавчины. На концах трещин высверливают отверстия, чтобы предотвратить дальнейшее их распространение. Разделку под сварку производят с одной или двух сторон в зависимости от толщины стенки.

Качество сварных швов проверяют внешним осмотром, просвечиванием рентгеновскими и гамма-лучами, ультразвуком и др. Наличие трещин в сварных соединениях выявляют при осмотре с помощью лупы с десятикратным увеличением, по характеру издаваемого звука при простукивании заваренной зоны и др.

Износ гнезда под подшипник происходит при сборке, разборке и проворачивании наружного кольца подшипника из-за недостаточной твердости и гладкости поверхности. Ремонт изношенных гнезд под подшипники качения осуществляют запрессовкой стальной втулки в расточенное отверстие щита, металлизацией или наплавкой слоя металла с помощью электросварки. Втулку с толщиной стенки 3—6 мм сажают по прессовой посадке и закрепляют стопорными винтами или клеем. При восстановлении гнезда методом металлизации на его поверхности, как и при восстановлении валов, нарезают рваную резьбу. Электросварка применяется только при ремонте стальных щитов.

Центрирующие поверхности изнашиваются как в щите, так и в корпусе. Восстанавливают посадку обычно на щите металлизацией поверхности. Прибегают также и к наплавке слоя металла электросваркой. При одновременном ремонте посадочных поверхностей гнезда под подшипник и центрирующего замка их механическую обработку производят с одного установа, чтобы выдержать минимальное биение между поверхностями.

Износ и срыв резьбы в крепежных отверстиях довольно часто встречаются в чугунных корпусах и особенно в корпусах из алюминиевых сплавов. Износ обычно происходит при многократных сборках и разборках резьбовых соединений, срыв резьбы — при чрезмерно больших моментах затяжки.

В стальных корпусах гнезда с изношенной или сорванной резьбой заваривают электродуговой сваркой, просверливают отверстие

и нарезают резьбу того же диаметра. В чугунных и алюминиевых корпусах *1* (рис. 65, *а*) нарезают резьбу большого диаметра и устанавливают футорку *3* с наружной и внутренней резьбой, которую стопорят штифтом *2* или эпоксидным клеем.

Резьбовое соединение со шпилькой можно отремонтировать, если изготовить новую шпильку *4* (рис. 65, *б*) с двумя резьбами разного диаметра. В алюминиевых корпусах целесообразна замена винтов на шпильки с гайками. В этом случае износ соединения при сборке и разборке значительно уменьшается, так как происходит свинчивание двух стальных деталей.

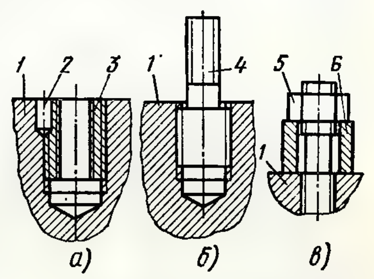


Рис. 65. Восстановление резьбовых соединений установкой футорки (*а*), ступенчатой шпильки (*б*), шпильки на клее (*в*)

Шпильки стопорят в корпусах клеем. Резьбовые конец шпильки и отверстие в корпусе промывают бензином, просушивают и затем на их поверхности наносят клей. На второй конец шпильки навинчивают гайку *5* (рис. 65, *в*) и устанавливают втулку *6*. Чтобы обеспечить оптимальную толщину слоя клея в соединении (затяжку производят с небольшим моментом, чтобы не выдавить клей), шпильку ввинчивают в резьбовое отверстие корпуса *1* на необходимую глубину и затягивают гайкой. Клеевое соединение сушат при затянутой гайке.

§ 36. Уход за подшипниками качения

Подшипники в эксплуатации систематически контролируют внешним осмотром, а также по нагреву, шуму и вибрации.

Повышенный нагрев подшипника может быть вызван его загрязнением, избытком или отсутствием смазки, задеванием вращающихся деталей о неподвижные, а также чрезмерным его износом или разрушением.

Температура подшипников качения для большинства электрических машин не должна быть более 100 °С. Обычно температура подшипника превышает температуру окружающей среды не более чем на 30 °С, а температуру подшипникового щита на 5—10 °С. Ненормальный нагрев подшипника обнаруживают сравнением их температур на нескольких однотипных машинах. Температуру в этом случае контролируют рукой, прикладывая ее к поверхности щита или крышки вблизи подшипника.

По характеру шумов и стуков в подшипнике при известном навыке можно определить его состояние. Проверку выполняют стетоскопом или длинной отверткой с пластмассовой ручкой. Лезвие отвертки прикладывают возможно ближе к месту установки подшипника, ручку — к уху. В исправном подшипнике слышится легкий равномерный шелест или тонкое жужжание. Свист или резкий

5 № 785

звенящий шум свидетельствует об отсутствии смазки или защемлении тел качения. Гремящий шум (частые звонкие стуки) указывает на появление язвин на рабочих поверхностях или попадание в подшипник абразивной пыли. Глухие удары появляются при ослаблении посадки подшипника.

Выброс смазки из подшипника происходит из-за износа или недостаточной эффективности уплотняющих устройств или избытка смазки. Своевременное добавление или замена смазки необходимы для нормальной работы подшипника. Смазка уменьшает трение в подшипнике и предохраняет его детали от коррозии. Недостаток или избыток смазки, неправильный выбор ее марки приводят к преждевременному износу подшипника.

Для подшипников качения применяют жидкие смазочные масла и мазеобразные пластичные смазки. Смазочные масла по сравнению со смазками существенно уменьшают трение, лучше проникают к поверхностям трения через узкие зазоры и отводят теплоту от подшипника. Однако при жидкой смазке усложняется конструкция уплотнений, смазочная система требует тщательного ухода в эксплуатации.

Пластичные смазки хорошо удерживаются в подшипнике, заполняя малые зазоры в уплотнениях, они надежно предохраняют подшипники от проникновения в них грязи, пыли и влаги. Эксплуатация машины упрощается, так как не требуется постоянного контроля за системой смазки.

Таблица 14. **Пластичные смазки, применяемые в электрических машинах** (ГОСТ 26191—84)

Наименование смазки	Основное назначение	Особенности применения
ВНИИНП-247	Подшипники качения микроэлектродвигателей	Гигроскопична. Температурный диапазон от —60 до +180 °С
ЛЗ-31	Подшипники качения закрытого типа	Не допускает контакта с водой. Температурный диапазон от —40 до +130 °С
ВНИИНП-207	Подшипники качения электрических машин с частотой вращения до 10 000 мин$^{-1}$	Влагостойкая. Температурный диапазон от —60 до +200 °С
ВНИИНП-219	Подшипники качения электрических машин с повышенной нагрузкой и частотой вращения до 9000 мин$^{-1}$	Температурный диапазон от —50 до +200 °С
ЦИАТИМ-221	Подшипники качения электрических машин систем управления, приборов с частотой вращения до 10 000 мин$^{-1}$	Гигроскопична. Работоспособность при остаточном давлении 666,5 Па (5 мм рт. ст.). Температурный диапазон от —60 до +150 °С
ЛДС-1 (ЛДС-2)	Подшипники качения электродвигателей серии 4А и АО2	Влагостойкая

Пластичные смазки (табл. 14) получают из смазочных масел путем их загущения. Добавленный в смазку загуститель создает в ней каркас из переплетенных волокон, который придает смазке пластичность и удерживает в ячейках смазочное масло.

Окончательное решение о применении той или иной марки смазки для конкретных машин принимается после длительной проверки работы подшипников в эксплуатационных условиях.

В подшипниках качения смазочные функции выполняет лишь тонкая пленка смазки, находящаяся на поверхностях трения. Избыток смазки приводит к нагреву подшипника из-за дополнительных потерь на трение при ее перемешивании. Количество смазки, которое закладывают в подшипник, зависит от его свободного объема, который складывается из пустот в самом подшипнике и подшипниковых крышках и скоростного параметра подшипника. Скоростной параметр равен произведению $d_{ср}n$, где $d_{ср}$ — средний диаметр подшипника (мм), равный полусумме наружного и внутреннего его диаметров, n — частота вращения (об/мин). В быстроходных подшипниках, скоростной параметр которых превышает 100 000, заполняют $^1/_3$ или самое большее $^1/_2$ свободного объема, при средних и небольших скоростях — от $^1/_2$ до $^2/_3$.

Надежная работа подшипников зависит не только от количества смазки, но и от правильной ее закладки. Смазкой заполняются пустоты *2* (рис. 66, *а*) в самом подшипнике, остальная ее часть должна образовать защитный слой *1*, который предохранит подшипник от загрязнения. Все щели в уплотнениях и жировые канавки должны быть заполнены смазкой *3* при сборке. Это необходимо потому, что смазка в зазорах уплотнений не перемалывается телами качения, имеет меньшую температуру, чем смазка в самом подшипнике, и лучше сохраняет вязкость, обеспечивая надежное уплотнение.

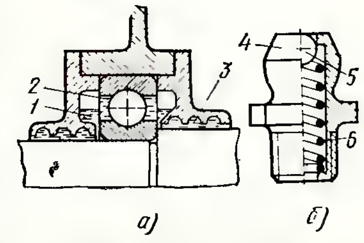


Рис. 66. Размещение смазки в подшипниковой опоре (*а*) и шариковая пресс-масленка (*б*)

Периодичность замены смазки в подшипнике зависит от многих факторов: скоростного параметра, нагрузки, рабочей температуры подшипника и оговаривается в инструкции по эксплуатации машины. Для пополнения и замены смазки в подшипниках предусматриваются специальные отверстия для ввода свежей смазки и выхода отработанной. В новых конструкциях электрических машин, например в серии 4А, смазка подается через пресс-масленку *7* (см. рис. 17), проходит по горизонтальному отверстию в крышке-капсюле *5* и заполняет полость между крышкой *12* и подшипником. Затем проходит через подшипник, попадает в промежуток между смазочным диском *6* и левой стенкой капсюля и выходит через отверстие в нижней части капсюля. Смену смазки производят на вращающейся машине и при снятой заслонке *4*, закрывающей входное отверстие. Вращающийся смазочный диск отбрасывает смазку к вы-

ходному отверстию, облегчая ей прохождение через подшипник. Смазку надо подавать постепенно, так как при большом давлении она может выйти через зазоры в уплотнениях. Ее нагнетают шприцем, головка которого закрепляется на масленке. Шариковая пресс-масленка состоит из корпуса *4* (см. рис. 66, *б*), в котором расположен шарик *5*, прижатый пружиной *6* к входному отверстию масленки. Надавливая на шарик, смазка сжимает пружину и проходит через масленку. После смены смазки шарик закрывает входное отверстие.

Подшипники качения снимают с вала при их замене, а также в случаях, когда они мешают демонтажу с вала других частей ротора. При разборке машины шарикоподшипники и внутренние кольца

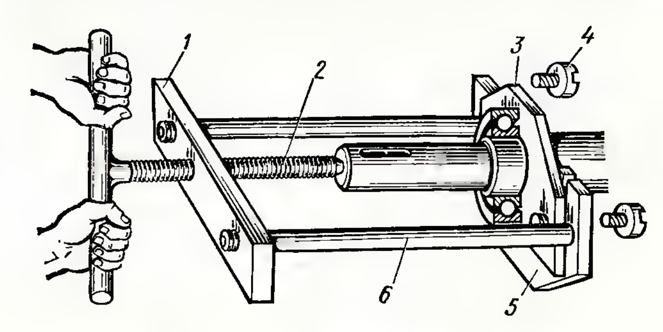


Рис. 67. Съемник со сменными плитками

роликоподшипников остаются на валу. Это облегчает демонтаж подшипников. После выемки ротора подшипники промывают и завертывают в промасленную бумагу, чтобы предохранить от загрязнения. Загрязненные подшипники не следует вращать, так как абразивные частицы повредят поверхности дорожек и тел качения.

Подшипники с вала снимают за внутреннее кольцо. При стягивании за наружное кольцо нагрузка передается через тела качения и вызывает появление вмятин на дорожках. Съемник со сменными плитками *3* (рис. 67) позволяет снимать подшипники с различными внутренними диаметрами. Плитка подбирается по диаметру вала, вставляется в плиту *5* и прикрепляется к ней винтами *4*. Плита *5* и планка *1* соединены шпильками *6*. При вращении по часовой стрелке винт *2* упирается в вал и стягивает подшипник.

Демонтаж подшипника иногда затрудняется из-за высокого борта на валу, в который упирается внутреннее кольцо, близко расположенного к подшипнику вентилятора или других деталей. В этих случаях для съема подшипника приходится изготовлять специальные приспособления.

Роликовые подшипники, которые представляют собой разборный комплект, при демонтаже маркируют (вешают бирки на отдельные части), так как замена колец и тел качения недопустима. При сборке на подшипниковом заводе кольца и тела качения подбирают по размерам таким образом, чтобы получить подшипник с определенным радиальным зазором. Перепутывание колец приведет к изменению зазора, от которого зависит нормальная работа машины и долговечность подшипника.

Предварительную оценку состояния неразборных подшипников после снятия с вала можно провести путем контроля качества их вращения. Дефектуемый подшипник сравнивают с эталонным. Подшипник удерживается в горизонтальном положении за внутреннее кольцо, наружное кольцо проворачивают в ту или другую сторону. Причиной тугого вращения может быть загрязнение подшипника или высыхание смазки. Заедание подшипника, т. е. относительно легкое проворачивание, но с остановками в некотором положении, может быть вызвано наличием на рабочих поверхностях местных налетов продуктов разложения смазки, прилипанием посторонних частиц или вмятинами на дорожках и телах качения. Если после промывки и смазки нормальное вращение не восстанавливается, подшипник бракуют. Повышенный шум в подшипниках обнаруживается при быстром вращении его от руки. Он может появиться из-за сильного увеличения радиального зазора или износа сепаратора.

§ 37. Ремонт подшипников скольжения

В подшипниках скольжения средних и крупных машин необходимо ежедневно контролировать температуру нагрева, уровень масла, вибрацию и зазор между вкладышем и цапфой. О температуре подшипника обычно судят по температуре масла, которую замеряют термометром, опущенным в масляную камеру стояка; для большинства подшипников она должна быть не более 80 °С. Масло холоднее вкладыша на 5—10 °С. В машинах с принудительной смазкой температура масла в месте его вытекания из подшипника не должна превышать 65 °С.

Повышенный нагрев подшипников скольжения чаще всего происходит из-за недостаточной подачи или загрязнения масла, использования масла, не подходящего для данных условий работы, малого зазора между шейкой и вкладышем или плохой пригонки вкладыша.

Недостаточная подача смазки может быть вызвана низким уровнем масла в камере, медленным вращением смазочных колец, сильным сгущением масла. Уровень масла контролируется при неподвижном роторе по отметкам максимального и минимального уровней маслоуказателя. Высокий уровень масла может быть причиной замедленного вращения колец и попадания его внутрь машины. При осмотре подшипников с кольцевой смазкой открывают крышку и проверяют подачу смазки. Кольцо должно подавать в прорезь непрерывную струю масла.

Медленное вращение колец обычно происходит при их намагничивании, выработке шейки вала в месте их установки, неправильной форме (некруглость или погнутость), наличии заусенцев, неуравновешенности кольца и повышенной вибрации подшипника.

Для смазки подшипников надо всегда применять масло, рекомендованное заводом-изготовителем машины. Вязкость масла должна быть такой, чтобы создать необходимое давление в смазочном слое. При большей частоте вращения давление создается при меньшей вязкости. В подшипниках машин с частыми пусками и реверсами применяют более вязкое масло, чтобы сократить время работы подшипника в режиме полужидкостного трения. Более вязкое масло выбирают также для сильно нагруженных подшипников и при повышенной температуре окружающей среды, учитывая падение вязкости с ростом температуры. Однако применять более вязкое масло, чем необходимо, не следует, так как это вызывает увеличение потерь на трение и дополнительный нагрев подшипника.

Масло при хорошем состоянии подшипника обычно добавляют не чаще 1 раза в месяц. Более частая доливка свидетельствует об утечке, которая опасна как для машины, так и для бетонного фундамента. Масло разрушает изоляцию обмоток и нарушает скользящий контакт, вызывая повышенное искрение щеток. Частой причиной утечки является плохое уплотнение спускной пробки.

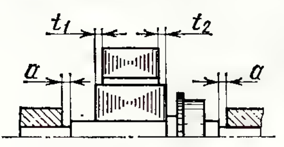


Рис. 68. Осевой разбег ротора в подшипниках скольжения

Выброс масла внутрь машины может произойти при выработке торцевой поверхности вкладыша маслосбрасывающими кольцевыми буртиками *4* (см. рис. 32) вала. Прижимаясь к торцу и входя в кольцевую выработку, выступ уже не может отбрасывать масло в радиальном направлении. Брызги летят наклонно, попадают на вал и по нему в машину. Выработка происходит при смещении ротора в осевом направлении, в результате чего при работе машины возникает сила, втягивающая ротор в статор. Выступание торцов сердечника t_1 и t_2 (рис. 68) и зазоры a с обеих сторон должны быть одинаковыми. Их определяют после пробного пуска машины, когда ротор установится в магнитном поле. Осевой зазор a для новых и отремонтированных машин должен быть примерно 0,6 мм на каждые 1000 мм расстояния между подшипниками. Выброс масла может также происходить из-за загрязнения канавок и отверстий для стока.

Загрязнение масла может произойти из-за плохой очистки литой поверхности подшипниковой камеры или в результаты попадания в него пыли через уплотнения. В первом случае поверхность камеры очищают стальной проволочной щеткой, промывают керосином и покрывают маслостойкой эмалью. Во втором случае устанавливают дополнительные уплотнения, наиболее простым из которых является кожаная шайба, охватывающая вал. Поверх кожаной шайбы устанавливают стальную шайбу, которая прижимает ее к торцу подшипника и валу.

Масло при замене выливают в противень, который ставят под спускное отверстие. Подшипник промывают сначала керосином, затем маслом, чтобы удалить остатки керосина.

В гидродинамических подшипниках при выработке увеличивается зазор, подъемная сила масляного слоя при этом уменьшается. Зазор при разъемных вкладышах определяют с помощью свинцовой проволоки диаметром около 1 мм. Два кусочка проволоки c_1 и c_2 кладут на шейку *4* (рис. 69, *а*) вала и четыре b_1, b_2, b_3, b_4 — на плоскость разъема вкладышей. Установив верхнюю половину

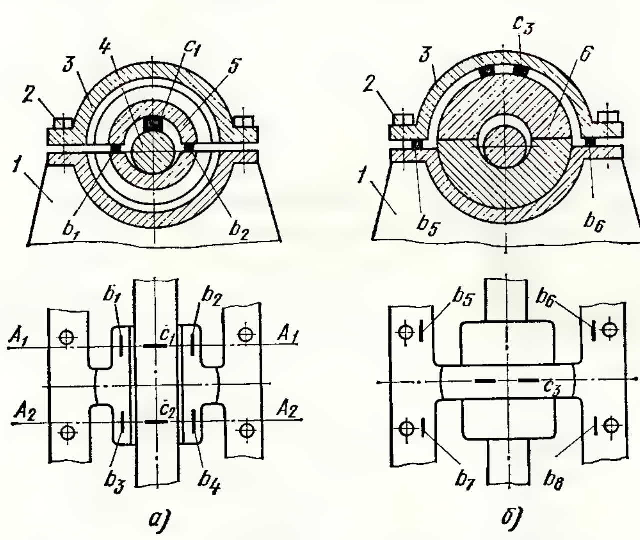


Рис. 69. Измерение верхнего зазора между цапфой и вкладышем (*а*) и между крышкой подшипника и верхним вкладышем (*б*)

вкладыша *5* и крышку *3*, равномерно затягивают болты *2*, крепящие крышку к стояку *1*, сминая проволочки. Зазоры (мм) в точке c_1 и c_2 будут соответственно равны:

$$\delta_1 = c_1 - 1/2\,(b_1 + b_2); \quad \delta_2 = c_2 - 1/2\,(b_3 + b_4),$$

где c_1, c_2, b_2, b_3, b_4 — толщина сплющенных проволочек, мм. Разница между δ_1 и δ_2 не должна превышать 10%.

Верхние зазоры в подшипниках с разъемными вкладышами и кольцевой смазкой обычно находятся в пределах 0,15—0,25% от диаметра шейки вала (бóльшие значения — для быстроходных машин).

Износ подшипников вызывает увеличение силы магнитного притяжения ротора к статору. При этом растут нагрузки на подшипник, что, в свою очередь, делает износ более интенсивным. Для нормальной работы электрической машины необходимо, чтобы износ не превышал определенной величины.

Зазор по посадочному пояску между верхним вкладышем и крышкой подшипника не должен превышать 0,05 мм. Его определяют, располагая четыре кусочка свинцовой проволоки в плоскости стыка крышки *3* подшипника (рис. 69, *б*) и стояка *1* вблизи стяги-

вающих болтов 2, два кусочка — на кольцевом пояске верхнего вкладыша 6. Зазор (мм) подсчитывают по формуле

$$\delta_3 = c_3 - 1/4\,(b_5 + b_6 + b_7 + b_8),$$

где c_3, b_5, b_6, b_7, b_8 — толщина сплющенных проволочек, мм.

Демонтаж подшипников скольжения в отличие от подшипников качения, как правило, производится без каких-либо приспособлений. Подшипники скольжения подлежат ремонту при значительном износе внутренних рабочих поверхностей вкладышей и торцов, растрескивании, выкрошивании, отслаивании и подплавлении заливки.

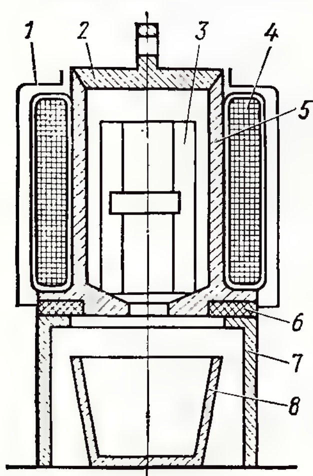


Рис. 70. Индукционный нагреватель для выплавки баббита из вкладышей:

1 — кожух, *2* — крышка, *3* — вкладыш, *4* — катушка, *5* — стальной корпус, *6* — теплоизоляция, *7* — подставка, *8* — форма

Дефекты вкладышей выявляют внешним осмотром и по звуку при простукивании молотком: вкладыш с отслоившимся баббитовым слоем издает дребезжащие и глухие звуки, а вкладыши с хорошо сохранившейся заливкой — чистые и звонкие. Трещины в баббите выявляют погружением вкладыша в керосин на 10—15 мин. После извлечения из ванночки поверхности протирают насухо и покрывают тонким слоем мела, разведенного в воде. Керосин задерживается в трещинах, поэтому они четко вырисовываются на закрашенных мелом поверхностях после их высыхания.

Баббитовый слой в подшипниках восстанавливают перезаливкой вкладыша. Небольшие местные повреждения устраняют наплавкой баббита газовой горелкой или электрическим способом и зачисткой напильником и шабером.

Вкладыши заливают ручным (статическим) способом или на центробежной установке. Центробежный способ дает лучшее сцепление сплава с поверхностью вкладыша, улучшает структуру залитого слоя и сокращает расход баббита на 8—10%.

Таблица 15. **Химический состав и основные физические свойства баббитов**

Марка	Химический состав, %					
	олово	сурьма	медь	кадмий	никель	свинец
Б83	Остальное	10—12	5,5—6,5	—	—	—
Б16	15—17	15—17	1,5—2,0	—	—	Остальное
БН	9—11	13—15	1,5—2,0	0,1—0,7	0,1—0,5	»

Марка	Физические свойства			
	Плотность, г/см³	Температура, °С		
		начала расплавления	плавления	заливки
Б83	7,38	240	370	440—460
Б16	9,29	240	410	480—500
БН	9,55	240	400	480—500

Старую заливку выплавляют из вкладышей в закрытых печах, чтобы уменьшить угар баббита, или в нагревательном устройстве (рис. 70), катушка *4* которого питается переменным током. Переменный магнитный поток нагревает стальной корпус *5* установки вихревыми токами. Вкладыш *3* нагревается теплотой, излучаемой стенками корпуса. Расплавленный баббит стекает в форму *8*.

Внутреннюю поверхность вкладыша для лучшего сцепления с баббитом лудят погружением вкладыша в ванну с припоем ПОС30.

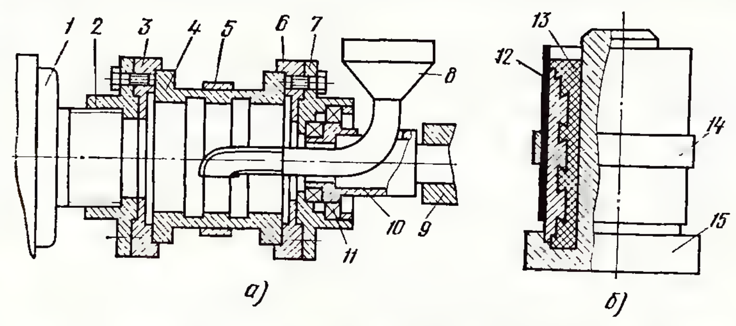


Рис. 71. Приспособление для центробежной заливки (*а*) и форма для ручной заливки (*б*) вкладышей

Перед лужением поверхность очищают до блеска стальными проволочными щетками и протравливают, погружая на 2—3 мин в 10—15%-ный раствор серной или соляной кислоты.

Перед заливкой разъемные вкладыши стягивают хомутом, который при центробежной заливке должен быть достаточно прочным, чтобы выдержать нагрузку от центробежных сил. В стыках верхнего и нижнего вкладышей устанавливают стальные нелуженые прокладки толщиной 3—5 мм, чтобы оставить припуск на механическую обработку плоскостей стыка.

Подшипники электрических машин обычно заливают баббитами Б16, БН и Б83 (табл. 15). Баббит с большим содержанием олова Б83 предназначен для подшипников с большими удельными давлениями и высокой окружной скоростью. Его применяют для крупных машин, а также машин мощностью выше 100 кВт при частоте вращения более 2900 об/мин.

Баббит плавят в металлических тиглях с нагревом газовым пламенем или в электрических печах с индукционным нагревом.

Приспособление для центробежной заливки устанавливают на планшайбе *2* (рис. 71, *а*), навинченной на шпиндель передней бабки *1* токарного станка. Скрепленные хомутом *5* половинки вкладышей *4* устанавливают на сменных фланцах *3* и *6*, позволяющих заливать подшипники разных диаметров. Со стороны задней бабки *9* приспособление поджимается крышкой *7*, вращающейся в подшипниках *11*. Сплав заливают через воронку *8*, трубка которой проходит внутрь вкладыша через отверстие в неподвижном корпусе *10*.

Установленный на станке вкладыш перед заливкой подогревают газовой горелкой до 250—260 °С. Распределение компонентов сплава по толщине заливки зависит от центробежной силы. Примыкающие к валу слои получаются более насыщенными оловом и сурьмой — элементами с меньшей плотностью. Чтобы получить наиболее благоприятное распределение компонентов в толще заливки, частоту вращения n (об/мин) выбирают в зависимости от радиуса R (см) подшипника и плотности сплава γ (г/см³); $n=5520/\sqrt{\gamma R}$. Так, например, при радиусе 100 мм частота вращения при заливке должна быть равна 810 об/мин для сплавов Б16, БН и 920 об/мин — для Б83.

Залитый баббитом подшипник должен вращаться до полного затвердевания сплава. Чтобы получить более благоприятную структуру баббитового слоя и ускорить его остывание, вкладыш охлаждают струей сжатого воздуха сразу после заливки.

Хорошее сцепление баббита со стенками вкладыша получается в том случае, если заливка произведена не позднее чем через 2—3 мин после лужения. Заливка холодных подшипников приводит к отслаиванию баббита от стенок вкладыша.

Способ ручной заливки применяют в мелких ремонтных мастерских или для крупных вкладышей, не размещающихся на станке для центробежной заливки. Стянутый кожухом *12* (рис. 71, *б*) и хомутом *14* вкладыш устанавливают в форму *15*. Баббит *13* заливается между вкладышем и центральным стержнем формы.

Заливку при том или другом способах производят специальным ковшом с делениями, чтобы отмерить необходимую порцию расплавленного баббита. Струя при заливке должна быть равномерной и непрерывной. Ковш располагают ближе к воронке или заливаемой щели, чтобы избежать разбрызгивания и меньше охладить сплав в процессе заливки. Заливка с перерывами приводит к образованию слоистости и пленок оксидов.

Местные повреждения заливки у вкладышей — выкрошивание и подплавление небольших участков — устраняют наплавкой баббита. Ремонтируемую поверхность обезжиривают и покрывают тонким слоем флюса, представляющего собой раствор в воде равных частей хлористых алюминия и цинка. Наплавку производят после высыхания флюса прутком баббита соответствующей марки.

Составные вкладыши сначала разрезают по линии разъема тонкой фрезой или ножовкой. Поверхность стыков фрезеруют или строгают, затем пришабривают. Половинки вкладышей стягивают хомутом, устанавливая в стыках с обеих сторон прокладки толщиной, равной верхнему зазору *а*. Подшипник растачивают до диаметра $d_р=d_ш+2a$ (где $d_ш$ — диаметр цапфы). После удаления прокладок подшипник благодаря этому имеет не только верхний зазор, но и боковые зазоры (по линии разъема), через которые поступает масло в рабочую зону подшипника.

Маслораспределительные продольные канавки шириной 8—12 и глубиной 1,5—2 мм выбирают вручную или на станке. Они не должны доходить до маслособирательных кольцевых канавок на 4—5 мм, чтобы масло по ним не выходило из рабочей зоны подшипника. В нижней части вкладыша в заливке просверливают отверстие для стока масла из кольцевых канавок.

Внутреннюю поверхность вкладыша пришабривают к цапфе. У разъемных подшипников сначала шабрят нижнюю (несущую) половину, затем верхнюю. Цапфу смазывают тонким слоем краски, прижимают к ней половинку и поворачивают ее 2—3 раза. Выступающие места на рабочей поверхности покрываются пятнами краски, которые снимают шабером. Эту операцию повторяют несколько раз. Окончательную доводку производят по следам сухого трения без краски после монтажа машины, когда вкладыши под тяжестью ротора занимают рабочее положение. Цапфу и вкладыш протирают сухой тряпкой, ротор опускают на подшипник и поворачивают 2—3 раза. В местах соприкосновения образуются тонкие блики-потертости, которые осторожно снимают шабером. Пригонка практически считается удовлетворительной, если на дуге 60—120° получаются две-три точки касания на каждом квадратном сантиметре поверхности.

§ 38. Ремонт сердечников

Ремонт сердечников производят после удаления обмотки. Устранение дефектов на обмотанном сердечнике может привести к повреждению изоляции и выходу из строя обмотки при дальнейшей эксплуатации. К основным неисправностям сердечников относятся: ослабление прессовки, веер зубцов, оплавление отдельных участков стали, нарушение изоляции между листами.

Различают местный ремонт сердечника, при котором дефекты устраняют без перешихтовки, и ремонт с перешихтовкой части или всего сердечника (как правило, только в крупных машинах). Перешихтовка сердечников малых машин в большинстве случаев экономически нецелесообразна и производится очень редко.

Местный ремонт заключается в восстановлении ослабленной прессовки, устранении дефектов на торцах сердечника и в местах оплавления. В машинах мощностью до 100 кВт обычно устраняют лишь незначительные дефекты, которые обнаруживаются после выемки обмотки.

Сердечник должен быть спрессован так плотно, чтобы сила трения между листами исключала возможность даже незначительного

их перемещения относительно друг друга. Плотность прессовки проверяют в зубцах и доступных местах спинки сердечника контрольным ножом (рис. 72, *а*), который вдвигают между листами сердечника. Если при сильном нажатии на рукоятку ножа его лезвие входит не более чем на 2—3 мм, плотность прессовки считается удовлетворительной. Нож с индикатором *2* (рис. 72, *б*), установленным между лезвием *3* и рукояткой *1*, позволяет контролировать нажатие.

Рис. 72. Контрольные ножи:
а — без индикатора, *б* — с индикатором

В некоторых случаях применяют способ контроля с помощью тензометрических устройств, действие которых основано на изменении сопротивления тонкой проволоки при ее растяжении. Проволоку наклеивают на упругую пластинку, которую встраивают в щуп. Щуп забивают молотком между листами, при этом он деформируется. О деформации судят по изменению сопротивления проволоки, которое измеряется высокочувствительным прибором. Каждый щуп тарируют под прессом, определяя показания прибора при известных деформациях.

При ослабленной прессовке на поверхности сердечника появляются ржавые пятна в результате контактной коррозии, которая вызывается перемещением листов стали друг относительно друга. В работающей машине при ослабленной прессовке возникает специфический шум, а иногда и вибрация, которая особенно опасна в зубцовой зоне, так как может вызвать истирание пазовой изоляции обмотки.

Ослабление прессовки наиболее часто наблюдается в зубцах. Если дефект носит местный характер, его можно устранить с помощью текстолитовых или гетинаксовых клиньев (рис. 73, *а*) толщиной 2—3 мм, ширина и высота которых должна соответствовать размерам зубца. Клинья промазывают клеем и забивают между листами в зубцы. Они могут быть установлены также между листами и нажимной шайбой (рис. 73, *б*). Чтобы клинья не выпадали, их заглубляют ниже поверхности листов, а листы отгибают.

После установки клиньев сердечник в местах ремонта покрывают изоляционным лаком. Сохранность покрытия проверяют при последующих ремонтах. Целостность пленки свидетельствует об отсутствии на отремонтированных участках контактной коррозии. Если на отлакированной поверхности появляются следы коррозии, производят дополнительное уплотнение зубцов сердечника. Для устранения распушения на торцах сердечника применяют склеивание крайних листов лаками воздушной сушки. Промежутки между ними промазывают кистью, сердечник в зоне зубцов стягивают и просушивают. Склеиванием достигается его высокая монолитность, так как зубцы соединяются по всей поверхности.

Пробой изоляции на корпус или между фазами обмотки при работе машины сопровождается появлением электрической дуги с высокой температурой, которая в пазовой части может расплавить листы сердечника. Оплавленный участок при ремонте вырубают на такую глубину, чтобы не осталось сплавленных между собой листов. Поверхность вырубленной зоны защищают острым шабером или шлифовальным камнем, ликвидируя замыкания между листами. Межлистовая изоляция под воздействием высокой температуры нарушается ниже зоны оплавления. Ее восстанавливают. Листы раздвигают ножом, между ними заливают лак БТ-99 и закладывают пластинки слюды толщиной 0,05—0,07 мм на глубину не менее 10—15 мм. Отремонтированный участок покрывают лаком. Если поврежденная зона находится в пазу, ее дополнительно заполняют полосками изоляции и специальной замазкой заподлицо с дном и стенками паза, чтобы создать опорную поверхность для обмотки.

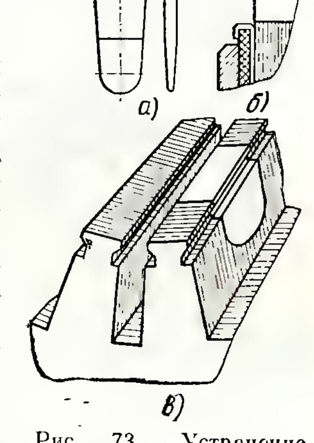


Рис. 73. Устранение местных дефектов сердечников:
а — клин, *б* — установка клина, *в* — установка заполнителя

В случае повреждения зубца на значительной длине в вырубленную его часть устанавливают заполнитель (рис. 73, *в*) из текстолита или гетинакса, который тщательно подгоняют по месту и устанавливают на клее. В верхней его части пропиливают углубления под пазовые клинья, которые дополнительно крепят заполнитель. Такой ремонт производят при восстановлении сердечников крупных машин. В машинах мощностью до 100 кВт обычно ограничиваются зачисткой оплавленных мест, сердечники со значительными повреждениями не ремонтируют.

При ослаблении прессовки всего сердечника дефект нельзя устранить забивкой клиньев. В этом случае с одной стороны снимают нажимную шайбу, подкладывают под нее электрокартон или асбест, вырезанные по форме листа сердечника, после чего шайбу устанавливают на место и сердечник опрессовывают. Статор *3* (рис. 74), листы которого набраны непосредственно в корпус, при таком ремонте устанавливают на деревянные брусья *1*, чтобы был доступ к гайкам *10*, навинченным на стяжные шпильки *8*. Затяжкой гаек *7* опрессовывают сердечник, замеряют высоту, на которую опустилась верхняя нажимная шайба *4*. Затем удаляют шпонки *5*, отвинчивают гайки *7*, снимают шайбу и на сердечник накладывают листы электрокартона или асбеста *9*. Общая толщина листов должна быть равна той высоте, на которую удалось осадить шайбу при опрессовке. Диаметр стяжных шпилек должен быть таким, чтобы

обеспечить усилие, необходимое для опрессовки сердечника данных размеров.

Общее ослабление прессовки часто сопровождается смещением отдельных листов сердечника, при котором зубцы частично заходят в пазы. В этом случае сердечник исправляют, прогоняя через пазы оправки тех же размеров, что и пазы, и имеющие коническую заходную часть. Чтобы получить гладкие стенки, пазы после ремонта сердечника опиливают.

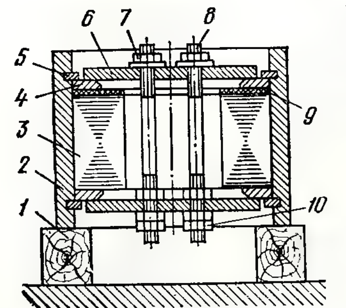


Рис. 74. Ремонт сердечника статора с ослабленной прессовкой:

1 — деревянные брусья, *2* — станина, *3* — статор, *4* — нажимная шайба, *5* — шпонка, *6* — кольцо, *7*, *10* — гайки, *8* — шпилька, *9* — электрокартон (асбест)

Нарушение межлистовой изоляции сердечника происходит при ее естественном старении в результате длительного срока эксплуатации или при чрезмерном перегреве сердечника. Ремонт таких сердечников требует восстановления изоляции листов, сердечники приходится полностью расшихтовывать и после изолировки листов собирать заново. Стоимость такого ремонта может превысить стоимость нового двигателя. Как правило, перешихтовка и переизолировка для электродвигателей мощностью от 400 до 600 кВт оказывается нецелесообразной. Крупные машины в экономически обоснованных случаях ремонтируют на месте установки. Для этой цели существуют специальные лак-машины, которые могут быть разобраны на части и перевезены к месту ремонта.

Контрольные вопросы

1. Какими способами восстанавливают изношенные поверхности на валах и в щитах?
2. Как восстанавливают резьбу в корпусных деталях и шпоночные соединения?
3. Как обеспечивают надежную работу подшипника в процессе эксплуатации электрической машины? По каким признакам обнаруживают неисправности подшипников качения?
4. Как контролируют работу подшипников скольжения и производят их ремонт?
5. В каких случаях и как производят ремонт шихтованных сердечников электрических машин?

ГЛАВА VII
СБОРКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

§ 39. Балансировка роторов

Положение оси инерции ротора зависит от распределения его элементов по окружности. Если массы всех сборочных единиц и деталей равномерно распределены, ось инерции совпадает с осью вращения.

Такой ротор называется уравновешенным. В большинстве случаев массы распределяются неравномерно, ось инерции смещена относительно оси вращения, появляется дисбаланс, равный произведению неуравновешенной массы на ее эксцентриситет. Такой ротор называется неуравновешенным. В неуравновешенных роторах возникают центробежные силы, пропорциональные дисбалансу и квадрату частоты вращения. Когда сила направлена вверх, давление на подшипник уменьшается, при повороте ротора на 180° сила действует вниз, увеличивая давление на подшипник. Такое периодическое изменение давления на подшипник приводит к вибрации ротора, которая через подшипник передается на корпус и фундамент машины, ухудшает работу скользящего контакта и уменьшает долговечность подшипников.

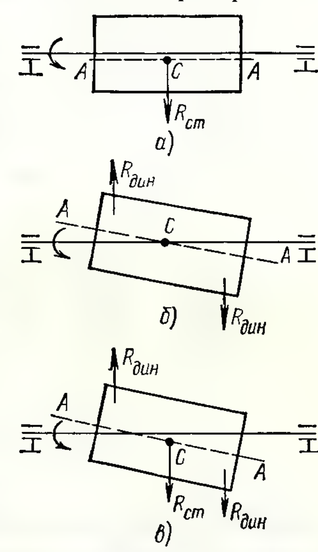


Рис. 75. Виды неуравновешенностей:

а — статическая, *б* — динамическая, *в* — смешанная

Неуравновешенные роторы балансируют. Процесс балансировки заключается в совмещении оси инерции ротора с осью вращения снятием металла или установкой балансировочных грузиков в определенных местах по окружности ротора. Особенно тщательно балансируют роторы быстроходных машин.

Возможны три вида дебаланса ротора: статический, динамический и смешанный. При статическом дебалансе ось инерции *А—А* (рис. 75, *а*), которая проходит через центр тяжести *С*, смещена параллельно оси вращения ротора. В этом случае центробежная сила $R_{ст}$ от дебаланса вызывает на опорах одинаковые по величине и совпадающие по фазе вибрации. Динамический дебаланс характеризуется расположением оси инерции *А—А* под углом к оси вращения (рис. 75, *б*). При этом пара центробежных сил $R_{дин}$ вызывает на опорах одинаковые по величине и противоположные по фазе вибрации. Смешанный дебаланс (рис. 75, *в*) приводится к паре сил $R_{дин}$ и силе $R_{ст}$, вибрации опор в этом случае отличаются как по величине, так и по фазе. Наиболее распространенным является смешанный дебаланс.

Различают два способа балансировки: статический и динамический. Для тихоходных машин с коротким ротором ограничиваются обычно статической балансировкой. Для остальных машин после статической осуществляют динамическую балансировку.

При статической балансировке снятие металла или установку грузиков производят на одном торце ротора. При динамической балансировке каждую половину ротора балансируют отдельно.

Ротор *1* (рис. 76, *а*) при статической балансировке кладут концами вала на параллельные горизонтальные линейки — призмы *3*,

установленные по уровню. Отклонение от горизонтального уровня не должно превышать 0,02 мм на 1000 мм длины. Ширину рабочей поверхности призмы выбирают в зависимости от массы ротора.

Масса ротора, кг	до 3	от 3 до 30	от 30 до 300	от 300 до 2000
Ширина рабочей поверхности призмы, мм	0,3	3	10	30

Если диаметры шеек вала неодинаковы, для выравнивания оси ротора на шейку с меньшим диаметром устанавливают кольцо *2*,

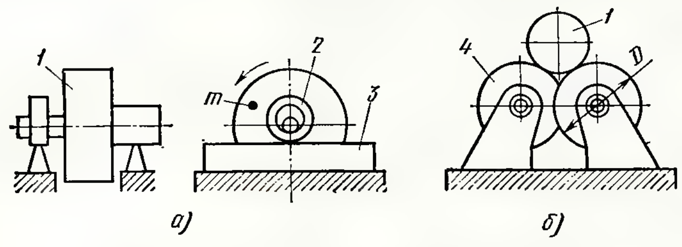


Рис. 76. Статическая балансировка:
а — на призмах, *б* — на вращающихся опорах

толщина которого равна разности радиусов шеек. Более точные результаты дает статическая балансировка на вращающихся опорах (рис. 76, *б*) с подшипниками качения. Диаметр *D* и длину роликов *4* подбирают в зависимости от массы ротора *1*.

Масса ротора, кг	до 250	от 250 до 1500	от 1500 до 10 000
Диаметр *D*, мм	100	150	250
Длина ролика, мм	40	70	250

Ротор при статической балансировке вращают на призмах или опорах, устанавливая в разных положениях. Если ось инерции расположена выше оси вала, ротор под действием неуравновешенной массы *m* (рис. 76, *а*) начинает вращаться и после нескольких колебаний в ту и другую сторону останавливается. Неуравновешенная масса при этом оказывается в нижнем положении. Балансировочный груз прикрепляют в верхней точке ротора. Затем снова устанавливают ротор в разных положениях, подбирая такую массу груза, при которой ротор перестает вращаться при любом его положении.

Динамическую балансировку роторов производят на специальных станках, позволяющих определить массу и положение уравновешивающих грузиков в двух плоскостях исправления * *А* и *Б* (рис. 77). Ротор *1* располагают в подпружиненных опорах *2* и *9* станка и приводят во вращение электродвигателем *7*. Вибрации

* Плоскостями исправления называют плоскости, перпендикулярные оси вращения, в которых удалением или добавлением масс компенсируют неуравновешенность ротора. В качестве плоскостей исправления могут быть использованы плоскости деталей — нажимные шайбы, вентиляторы, коллекторы или специальные детали — балансировочные кольца.

опор, вызываемые неуравновешенностью ротора, передаются катушкам *3*, которые перемещаются в магнитном поле между полюсами *N* и *S*. В катушках возникает эдс, пропорциональная амплитудам вибраций опор.

Напряжение с катушек через усилитель *4* подается к прибору *6* и в цепь стробоскопа *5*. Вспышки лампы *8* стробоскопа освещают шкалу на шпинделе станка. Вспышки по времени совпадают с максимальным вибрационным смещением, т. е. с моментом, когда неуравновешенная масса находится в верхнем или нижнем положении.

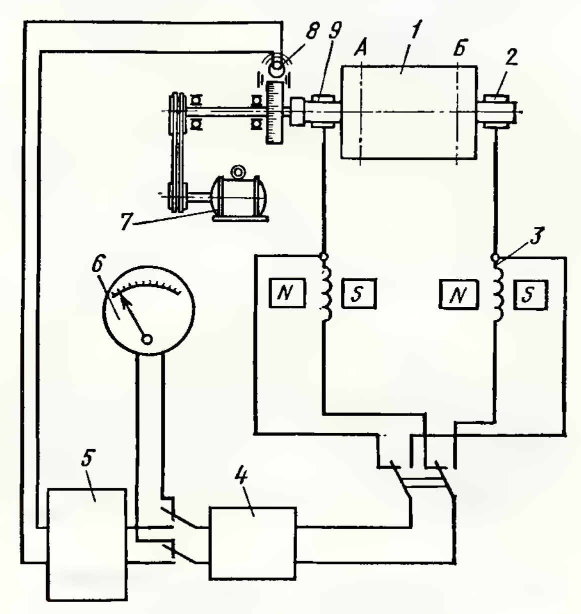


Рис. 77. Схема балансировочного станка

Стробоскоп дает одну мгновенную вспышку за каждый оборот ротора, благодаря чему вращающаяся шкала кажется остановившейся в определенном положении. Станок останавливают, ротор поворачивают в положение, которое было замечено по шкале при вращении, устанавливая тем самым место, в котором следует прикрепить контрольный груз: «легкое» и «тяжелое» места расположены в вертикальной плоскости. Дебаланс ротора определяют по стрелочному прибору *6*. Снова включают станок. Если груз установлен правильно, показания прибора уменьшаются. Постепенно увеличивая груз, добиваются устранения неуравновешенности. Если показания прибора увеличиваются, груз необходимо перенести на 180°. Сначала производят балансировку в одной плоскости, например в плоскости *А*, подключая к усилителю левую катушку; затем с помощью переключателя подключают вторую катушку, балансируя вторую половину ротора. Роторы крупных машин балансируют в собственных подшипниках при вращении машины без нагрузки. Вибрацию

подшипников измеряют виброметрами или стрелочными индикаторами.

Для электрических машин предусмотрены три класса точности уравновешивания: нулевой, первый и второй. Второй класс точности установлен для машин с обычными требованиями по уровню вибрации, первый — для малошумных машин и машин с повышенной точностью вращения (для станков, бытовых приборов и пр.). Нулевой класс необходим для машин с особо высокими требованиями к уровню вибрации; в этих машинах применяют подшипники высоких классов точности, производят балансировку ротора в собранной машине, а в щитах предусматриваются окна для доступа к местам балансировки.

В чертеже ротора указывают плоскости исправления и методы устранения неуравновешенности, а также допустимую остаточную неуравновешенность, так как в процессе балансировки добиться полной уравновешенности ротора практически невозможно.

Балансировку роторов надо производить соблюдая следующие правила безопасности. При статической балансировке на призмах ротор следует размещать в средней части призм и вращать медленно, чтобы при перекатывании не произошло его падения. Длина призм должна быть такой, чтобы ротор мог сделать не менее одного оборота в каждую сторону. Перед установкой ротора на призмы надо убедиться, что длина вала больше расстояния между призмами. Вращающиеся опоры предварительно проверяют на отсутствие заеданий в подшипниках. При динамической балансировке не следует останавливать ротор руками. Балансировочные грузы должны быть тщательно закреплены. Рукава рабочей одежды должны иметь манжеты для предохранения их от захвата вращающимися частями.

§ 40. Инструменты и приспособления, применяемые при сборке

Многие инструменты и приспособления (гаечные ключи, отвертки, приспособления для ввода и вывода роторов) используют как при разборке, так и при сборке электрических машин. Однако при сборке применяют также и специальные инструменты и приспособления.

Передаточные детали (шкивы, полумуфты, шестерни) насаживают при сборке на вал машины таким образом, чтобы усилие не передавалось на подшипники. Для этого используют приспособление, состоящее из двух швеллеров *3* и *5* (рис. 78), скрепленных шпильками *4*. Крышку подшипника со стороны, противоположной приводу, снимают и торец вала упирают в шкворень *2* швеллера *3*. В другой швеллер вставлена гайка. Вращением винта *1* шкив напрессовывают на приводной конец вала.

Подшипники качения перед посадкой на вал подогревают в масляных ваннах. Установка щита на подшипник также может быть облегчена при его нагреве. Нагреватель представляет собой приспособление с трубчатыми или иной конструкции тепловыделяющими элементами, которое вставляется в отверстие щита *1* (рис. 79). Наиболее удобен нагреватель индукционного типа, состоящий из шихтованной магнитной системы *6*, выполненной из П-образных листов электротехнической стали, прикрепленных к кольцу *4*, и

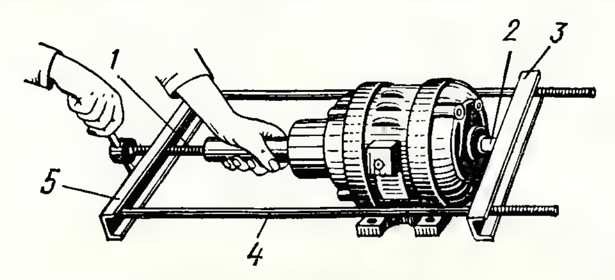


Рис. 78. Насадка шкива на вал

катушки *7*, по которой проходит переменный ток. Переменный магнитный поток, возбуждаемый катушкой, замыкается через щит и нагревает его вихревыми токами. Сам индуктор остается сравнительно холодным, так как потери в шихтованной магнитной системе

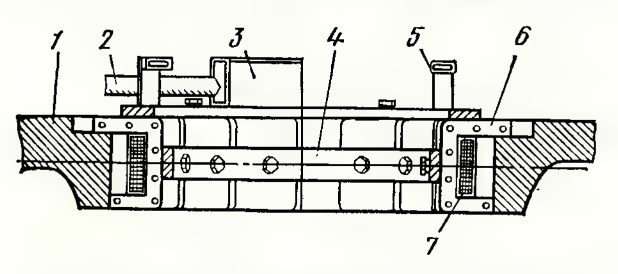


Рис. 79. Индукционный нагреватель для щита

невелики. Питающий кабель *2* соединяется с выводами катушки в коробке зажимов *3*. Ручки *5* служат для переноски нагревателя. Щит нагревается до 120—130 °С за несколько минут. Для автоматического отключения нагревателя в его электрической схеме предусматривают реле времени, выдержку которого подбирают опытным путем.

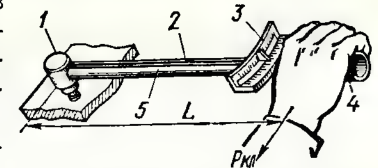


Рис. 80. Динамометрический ключ

Резьбовые соединения затягивают с усилием, обеспечивающим плотный стык сопрягаемых деталей. Слабо прижатые детали при вибрациях будут перемещаться друг относительно друга, чрезмерное усилие затяжки может привести к срыву резьбы. Для контроля момента затяжки $M_з = P_{кл}L$ в ответственных соединениях применяют динамометрические (рис. 80) и предельные (тарированные) ключи. В динамометрических ключах момент измеряется с помощью

упругих элементов, например стержня *5*, который изгибается при приложении усилия $P_{кл}$ к рукоятке *4*. Шкала *3*, закрепленная на стержне, перемещаясь вместе с ним относительно стрелки *2*, позволяет определить момент, приложенный к головке *1* ключа. Предельные ключи снабжают устройством, расцепляющим рукоятку и головку при заданном моменте.

Момент затяжки выбирается в зависимости от диаметра резьбы и материала крепежных деталей.

Диаметр резьбы, мм	3	4	5	6	8	10	12	14
Момент затяжки для болтов из стали 45, Н·м	0,38	0,9	1,95	3,4	6,4	17,1	25	51

Чтобы не произошло отвинчивания крепежных деталей в процессе работы, их контрят.

Воздушные зазоры в электрических машинах контролируют наборами щупов из пластин толщиной 0,1—3 мм, шириной 6—13 и длиной 350—600 мм. Клиновыми щупами (рис. 81) измеряют зазоры от 0,5 до 12 мм с точностью 0,1 мм. На стержне *4* щупа укреплен

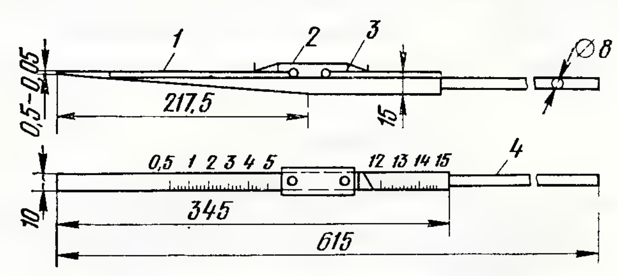


Рис. 81. Клиновой щуп для измерения зазора

клин *1*, на котором нанесена шкала с ценой деления 0,1 мм и установлен движок *2* с указателем *3*. Клин вводят в воздушный зазор до упора, движок подводят к торцу сердечника. При этом указатель покажет на шкале значение измеряемого зазора.

§ 41. Сборка подшипниковых опор

От чистоты подшипника и внутренних полостей опоры зависит надежность его работы. Подшипники поступают на сборку в упаковке, перед монтажом их тщательно промывают. Нельзя применять подшипники, имеющие на рабочих и монтажных поверхностях колец и телах качения коррозию, трещины, сколы, забоины, вмятины и др.

На посадочных поверхностях валов и щитов недопустимо наличие заусенцев, царапин, вмятин. Необработанные поверхности подшипниковых крышек должны быть тщательно очищены от формовочной земли и покрыты маслостойким лаком.

Плавающие опоры проверяют на легкость перемещения в них подшипника в осевом направлении. Он должен передвигаться по всей длине посадочного места от легких ударов по торцу наружного кольца молотком через выколотку.

Незначительные повреждения на посадочных поверхностях под подшипники устраняют напильником с последующей зачисткой мелкой шлифовальной шкуркой. Пятна коррозии удаляют шкуркой и шлифовальной пастой.

Монтаж подшипников производят с помощью специальных приспособлений. При запрессовке особое внимание обращают на соосность вала и подшипника. Даже незначительные перекосы затрудняют посадку, приводят к образованию задиров на посадочных поверхностях. Посадочные поверхности перед сборкой протирают и смазывают.

Усилие при запрессовке подшипников на вал должно быть приложено к внутреннему кольцу. Шарикоподшипники небольших размеров насаживают монтажной трубой *1* (рис. 82), торец которой должен быть ровным, чтобы обеспечить посадку без перекоса С противоположной стороны трубы расположена заглушка *2*; ее сферическая поверхность обеспечивает более правильное приложение усилия от молотка *3* вдоль оси вала.

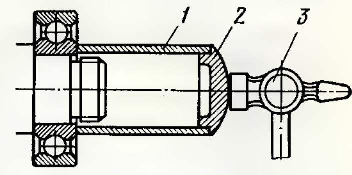


Рис. 82. Насадка подшипника монтажной трубой

Монтаж некрупных подшипников с небольшим натягом иногда осуществляют с помощью выколотки, которую изготовляют в виде прутка из мягкого материала (медь, латунь, мягкая сталь). Ее прижимают к торцу кольца и равномерными ударами молотка насаживают подшипник на вал. Чтобы избежать перекоса, удары следует наносить в диаметрально противоположных точках кольца. Выколотку часто применяют для подшипников, монтируемых с предварительным подогревом, чтобы окончательно прижать его внутреннее кольцо к опорному буртику вала.

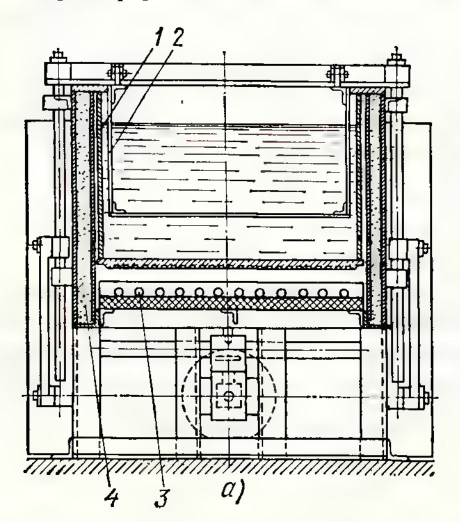
Подшипники нередко повреждаются при монтаже, когда их насаживают на вал со значительным натягом. Чтобы облегчить посадку и большую прочность на валу, их подогревают до 80—90 °С в масляной ванне или индукционным методом с помощью специального аппарата.

Ванна имеет внутренний резервуар *1* (рис. 83, *а*), в котором масло подогревается электронагревателями *3*, уложенными в керамическую плиту. Для уменьшения потерь теплоты масляная ванна имеет теплоизоляцию *4*. Подшипники укладывают в решетчатую корзину *2*, подъем и спуск которой осуществляются механизмом, приводимым в действие пневмоцилиндром двустороннего действия, подвешенным к каркасу ванны. Подшипники после стекания масла вынимают из корзины проволочным крюком. В резервуаре установлен термометр для контроля за температурой масла, которая должна быть не более 120 °С, чтобы не снизить твердость деталей подшипников.

Масляные ванны имеют существенные недостатки. Трансформаторное масло, которым заполняют ванны, при температуре выше 130 °С может вспыхнуть, неосторожность персонала может привести

к пожару. Сами ванны громоздки, подшипники в них нагреваются длительное время и неравномерно: сильнее нагревается та его часть, которая ближе расположена к обогревателю. Для нагрева масла требуются дополнительные время и затраты электроэнергии.

Аппарат для индукционного нагрева подшипников качения лишен этих недостатков. Подшипник *6* (рис. 83, *б*) кладут на огнестойкую асбестоцементную плиту *5* аппарата, откинув верхний сектор кольцевого магнитного сердечника *7*, укрепленный на латунном шарнире *8*. На нижней части сердечника расположена первичная обмотка *10* с отпайками на 100, 150 и 200 витков. Для изготовления сердечника аппарата могут быть использованы сердечники сгоревших трансформаторов тока. Концы обмотки выведены на зажимы *9*.



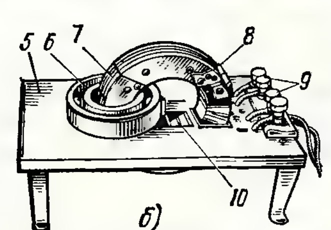


Рис. 83. Масляная ванна (*а*) и индукционный аппарат (*б*) для нагрева подшипников

Вторичной обмоткой трансформатора служат кольца подшипника, представляющие собой короткозамкнутый виток. Первичная обмотка аппарата подключается к сети переменного тока через стандартный трансформатор на напряжение 380—220/36—12 В мощностью 250 Вт.

Метод индукционного нагрева применим для подшипников качения любых размеров. Аппарат, изображенный на рис. 83, *б*, позволяет нагревать подшипники от № 310 до № 322 (внутренние диаметры подшипников от 50 до 110 мм). Масса аппарата 5 кг. Нагрев подшипников индукционным методом производят примерно в 3 раза быстрее, чем в масляной ванне.

При сборке проверяют осевые зазоры и зазоры в уплотнениях. Если в машине предусмотрена фиксирующая опора, зазоры *а* (см. рис. 27, *а*) между торцами наружных колец и крышками в плавающей опоре должны быть в пределах 3—5 мм при размере *l* между опорами до 1000 мм и 5—8 мм при размере *l* от 1000 до 3000 мм. При установке подшипников враспор (см. рис. 27, *б*) сумма зазоров выдерживается в пределах 0,4—0,5 мм при *l* от 300 до 500 мм и 0,5—0,7 мм

при *l* от 500 до 1000 мм. Зазор *е* между подшипниковой крышкой и валом (см. рис. 29, *а*, *б*) должен быть в пределах 0,25—0,5 мм. Его проверяют щупом.

В машинах с роликовыми подшипниками проверяют осевое смещение колец относительно друг друга. В радиальных роликоподшипниках без бортов на одном из колец смещение должно быть в пределах 0,5—1,5 мм.

§ 42. Сборка электрических машин

Щеточный аппарат, коллекторы, контактные кольца, роторы, главные и добавочные полюса собирают на отдельных участках. Такая организация позволяет повысить производительность труда и качество ремонта за счет специализации и применения современной технологической оснастки и оборудования. Кроме того, продолжительность ремонта сокращается, так как работы ведутся одновременно на разных участках.

Общая сборка машин переменного тока включает: монтаж подшипников, ввод ротора в статор, запрессовку подшипниковых щитов, измерение воздушных зазоров. Ввод ротора осуществляется теми же приспособлениями, которые применяют при разборке. Большого внимания и опыта эта операция требует при сборке крупных машин, так как даже легкое прикосновение массивного ротора может привести к значительному повреждению обмоток и сердечников.

Последовательность сборки и ее трудоемкость в первую очередь определяются сложностью конструкции электрической машины. Наиболее проста сборка асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором.

Вначале подготовляют к сборке ротор, насаживая на вал шарикоподшипники. Если у подшипниковых опор есть внутренние крышки, сначала их надевают на вал, заполняя уплотнительные канавки смазкой. Подшипники закрепляют на валу стопорным кольцом или гайкой, если это предусмотрено конструкцией машины. Роликовые подшипники разделяются на две части: внутреннее кольцо вместе с роликами насаживают на вал, наружное устанавливают в щит.

После ввода ротора в статор в подшипники закладывают консистентную смазку, щиты надевают на подшипники и вдвигают в корпус центрирующими поясками, закрепляя болтами. Все болты первоначально ввертывают на несколько ниток, затем, поочередно затягивая их в диаметрально противоположных точках, запрессовывают щит в корпус. После сборки проверяют легкость вращения ротора и производят обкатку на холостом ходу, проверяя подшипники на нагрев и шум. Затем двигатель отправляют на испытательную станцию.

Сборку машин постоянного тока начинают с подготовки якоря, индуктора и подшипниковых щитов.

На якорь (см. рис. 19), состоящий из вала *22*, сердечника *14* с обмоткой, коллектора *9* и балансировочного кольца *7*, напрессовы-

вают вентилятор *18*. На оба конца вала надевают внутренние крышки подшипниковых опор и напрессовывают шарикоподшипники. У роликовых подшипников напрессовывают только внутреннее кольцо. На наружное кольцо подшипника со стороны, противоположной коллектору, напрессовывают щит *19*. В подшипник закладывают смазку и закрывают его наружной крышкой.

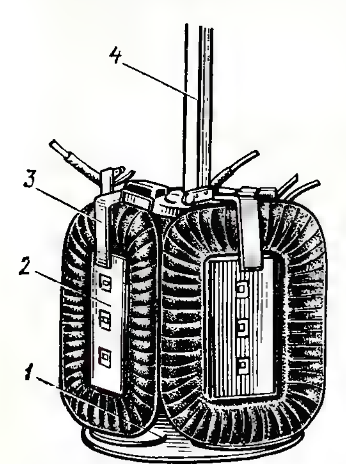


Рис. 84. Приспособление для монтажа полюсов

Сборка индуктора включает в себя установку в корпус *12* главных *24* и добавочных *26* полюсов с катушками и выполнение междукатушечных соединений. Полюса сначала запрессовывают в катушки, устанавливая прокладки, рамки, пружины и др. Катушка или рамка, которая в нее упирается, должна выступать над поверхностью затылка полюса, чтобы обеспечить надежный зажим катушек при затяжке болтов крепления полюсов.

Небольшие полюса с катушками сборщик поддерживает при монтаже рукой, тяжелые полюса *2* (рис. 84) сначала закрепляют на приспособлении скобами *3* или другим способом. Приспособление, показанное на рисунке, предназначено для установки полюсов при вертикальном положении корпуса и состоит из круглого основания *1*, центральной штанги *4* для подъема и транспортировки и рычажно-шарнирного механизма, который обеспечивает прижим полюсов после опускания приспособления в корпус под действием собственной массы.

Катушки главных и добавочных полюсов соединяют согласно схеме. В зависимости от класса изоляции места соединений изолируют несколькими слоями лакоткани или стеклолакоткани и поверху защитной лентой. На гибкие выводы в местах прохода их через стенки станины надевают резиновые втулки, предохраняющие изоляцию выводов от повреждения.

Полярность полюсов проверяют в собранном индукторе с помощью компаса. Обмотку подключают к источнику постоянного тока, компас перемещают по окружности вблизи полюсов. Около каждого соседнего полюса стрелка должна поворачиваться на 180°. По ходу вращения в двигателях за главным полюсом следует одноименный добавочный, в генераторах — добавочный другой полярности.

Щит *4* (см. рис. 19) со стороны коллектора подготовляют к сборке, устанавливая в него и соединяя по схеме комплект щеткодержателей.

Общая сборка машин постоянного тока начинается с запрессовки в индуктор переднего (коллекторного) щита. Эта операция выполняется обычно при вертикальном положении индуктора. Щит вставляют сверху и запрессовывают в корпус крепящими болтами. Ввод

якоря и запрессовку заднего щита производят при вертикальном или горизонтальном индукторе. При вертикальной сборке якорь со щитом поднимают за рым-болт, который навертывают на резьбовой конец вала.

Крановые двигатели постоянного тока для удобства обслуживания при массе более 600 кг выполняют с разъемной станиной. Такая конструкция позволяет без полной разборки машины и разъединения ее с механизмом провести профилактический ремонт, очистку якоря, катушек и токосъемного устройства. Сборка при разъемной

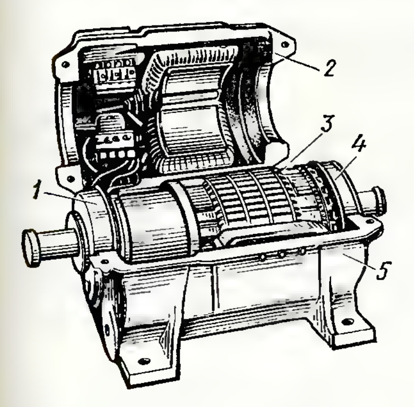


Рис. 85. Машина постоянного тока с разъемным индуктором

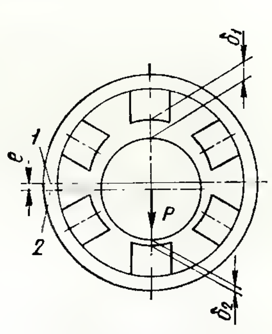


Рис. 86. Появление силы одностороннего магнитного притяжения

станине также облегчается: оба подшипника и щиты *1*, *4* (рис. 85) устанавливают на якоре *3*, после чего его опускают в нижнюю половину *5* индуктора и накрывают верхней половиной *2*. Обе половины скрепляют болтами.

В электрических машинах при неравномерном воздушном зазоре появляется сила P (рис. 86) одностороннего магнитного притяжения, которая создает дополнительную нагрузку на подшипники и вызывает прогиб вала. Зазоры δ_1 и δ_2 разной величины получаются при смещении оси ротора *2* относительно оси статора *1*.

Ротор притягивается к каждому из полюсов с силой, пропорциональной квадрату магнитной индукции, которая зависит от сопротивления магнитной цепи. Там, где зазор больше, индукция будет меньше. В результате ротор притягивается сильнее к группе полюсов, под которыми воздушный зазор меньше.

Если ротор смещен вниз, как показано на рисунке, сила P будет направлена также вниз и пропорциональна эксцентриситету e*.

Смещение ротора особенно сильно влияет на величину P в асинхронных двигателях, где мал воздушный зазор. По мере износа подшипников, если сила P направлена вниз, она возрастает.

---

* Эксцентриситетом называют смещение оси сердечника ротора относительно оси расточки статора: $e=0{,}5\,(\delta_1-\delta_2)$.

Равномерность воздушного зазора в электрических машинах достигается за счет получения при механической обработке минимальных биений наружной поверхности сердечника ротора относительно шеек вала под подшипники, отверстий в щитах под подшипники и внутренней поверхности статора (полюсов) относительно их центрирующих поясков (замков). Сопряжение корпуса со щитами осуществляется обычно кольцевым выступом на одной из деталей и выточкой, в которую входит выступ, — на другой.

§ 43. Испытания электрических машин после ремонта

Контроль качества выходящих из ремонта машин во многом определяет их надежность при дальнейшей эксплуатации. В настоящее время объем послеремонтных испытаний максимально приближен к требованиям стандарта на новые электрические машины.

Установлены два вида испытаний после капитального ремонта: приемо-сдаточный и типовой. Машины, отремонтированные без изменения мощности или частоты вращения, проходят приемо-сдаточные испытания; если изменяется хотя бы один из этих параметров, машина должна пройти типовые испытания.

Приемо-сдаточные испытания включают следующую обязательную программу для всех типов машин (постоянного тока, синхронных и асинхронных): измерение сопротивления изоляции обмоток относительно корпуса и между обмотками; измерение сопротивления обмоток при постоянном токе в практически холодном состоянии; испытание изоляции относительно корпуса и между обмотками и междувитковой изоляции обмоток переменного тока на электрическую прочность.

У машин постоянного тока при приемо-сдаточных испытаниях, кроме того, проверяют механическую прочность при повышенной частоте вращения, определяют ток возбуждения генератора или частоту вращения двигателя при холостом ходе, качество коммутации. Синхронные машины также проходят проверку при повышенной частоте вращения, у них снимают характеристику холостого хода и определяют ток короткого замыкания. У асинхронных машин определяют коэффициент трансформации, ток, потери холостого хода и короткого замыкания.

Типовые испытания после ремонта проводят только тогда, когда изменение паспортных данных может вызвать изменение характеристик машины. Если у асинхронного двигателя изменено номинальное напряжение (например, с 380 на 660 В), никаких дополнительных испытаний сверх приемо-сдаточных не требуется.

В программу типовых испытаний включают дополнительно проверку тех параметров, которые могут измениться. Так, например, у асинхронного двигателя при увеличении частоты вращения (уменьшении числа полюсов) необходимо провести испытание при повышенной частоте вращения, испытание на нагревание, определение максимального M_{max} и минимального M_{min} вращающих моментов (рис. 87), определение начального пускового вращающего момента (для двигателей с короткозамкнутым ротором) и т. д.

Начальным пусковым моментом $M_п$ называется вращающий момент, развиваемый электродвигателем при неподвижном роторе (частота вращения $n=0$). В процессе разгона вращающий момент может уменьшиться. Минимальный вращающий момент M_{min} является важной характеристикой короткозамкнутого двигателя. Значительное уменьшение момента в процессе пуска может привести к застреванию двигателя на частоте вращения, соответствующей минимальному вращающему моменту.

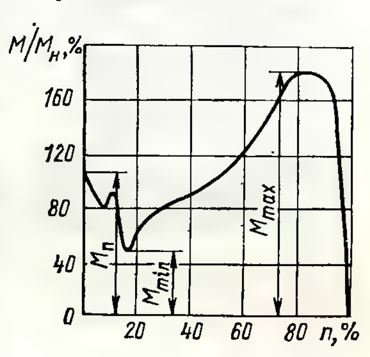


Рис. 87. Типовая характеристика вращающего момента асинхронного двигателя

Испытание электрических машин при повышенной частоте вращения производят для проверки механической прочности вращающихся ее частей. Машина должна выдерживать это испытание в течение 2 мин без повреждений и остаточных деформаций.

В машинах постоянного тока и асинхронных двигателях с фазным ротором при повышенной частоте вращения может произойти разрыв бандажей. В открытых машинах от разлетающихся обрывков могут пострадать окружающие предметы и персонал, поэтому из опасной зоны на время испытаний люди должны быть удалены.

Наибольшую опасность представляет испытание синхронных машин с явно выраженными полюсами, закрепленными на ободе болтами. Разрыв обода или отрыв полюсов может привести к полному разрушению машины. Испытания таких машин производят в специальных блиндажах или в часы, когда помещение свободно от персонала, не занятого непосредственно данными испытаниями. Тяжелые травмы могут быть также получены в результате разрушения вентиляторов, лопатки которых имеют небольшую массу, но вылетают с большой скоростью.

Двигатель при испытаниях нагружают обычно с помощью различных тормозов. Электромагнитный тормоз показан на рис. 88. Конец вала испытываемого электродвигателя *4* соединяется эластичной муфтой с валом, на котором насажен массивный стальной диск *5*. Диск охвачен четырьмя полюсами *6* электромагнита с катушками *7*, которые питаются постоянным током. Полюса с катушками посажены на отдельный вал, к концу которого прикреплены противовес *1* и стрелка *2*. Неподвижная шкала *3* проградуирована в ньютонах на метр.

Тормозной момент на валу испытываемого двигателя создается при взаимодействии вихревых токов во вращающемся диске с магнитным полем полюсов электромагнитов. Под действием тормозного момента вал с полюсами поворачивается, стрелка отклоняется.

Перед испытаниями проверяют качество сборки машин: затяжку винтов, болтов и гаек, свободное вращение ротора, наличие смазки в подшипниках, маркировку выводов обмоток, а также воздушный зазор и его симметрию. В машинах постоянного тока проверяют, кроме того, равномерность расстановки полюсов по окружности корпуса и щеток по окружности коллектора, силу нажатия на щетки. Щетки притирают и после приработки устанавливают в нейтральное положение.

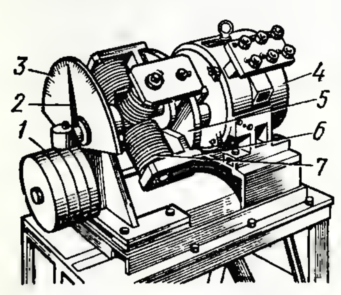


Рис. 88. Электромагнитный тормоз для испытания электродвигателей под нагрузкой

Измерение сопротивления и проверка электрической прочности изоляции относительно корпуса и между обмотками являются важнейшими испытаниями, после которых может быть принято решение о возможности включения машины на рабочее напряжение.

Сопротивления изоляции измеряют мегаомметрами поочередно у каждой обмотки, соединяя остальные обмотки с корпусом машины. Каждую обмотку после испытания разряжают на корпус, чтобы снять остаточное напряжение. Минимально допустимое сопротивление изоляции для электродвигателей переменного тока напряжением до 1000 В должно быть в холодном состоянии не менее 5 МОм.

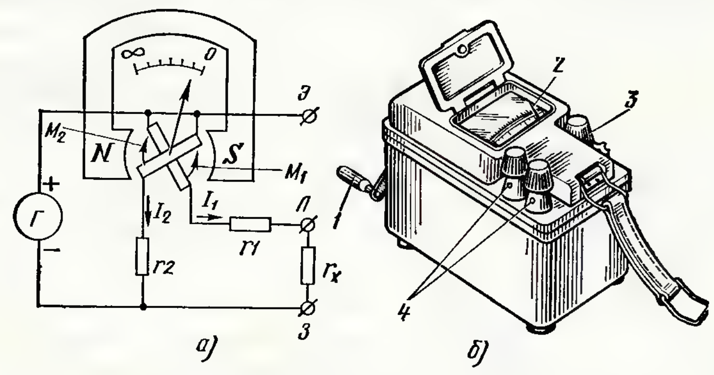


Рис. 89. Схема (*а*) и внешний вид (*б*) мегаомметра

Мегаомметр предназначен для измерения больших сопротивлений. Его измерительное устройство представляет собой магнитоэлектрический логометр, который состоит из двух скрепленных вместе и сидящих на одной оси со стрелкой катушек. Катушки находятся в неравномерном магнитном поле между полюсами *N* и *S* подковообразного постоянного магнита (рис. 89, *а*). В логометре отсутствует пружина, которая в измерительных приборах других типов создает противодействующий момент. Для подвода тока в катушки служат три мягкие серебряные спирали, не создающие механического момента. Когда нет тока в катушках, подвижная система

прибора находится в состоянии безразличного равновесия, стрелка останавливается у любого деления шкалы. Катушки питаются от встроенного в мегаомметр генератора *Г* с ручным приводом.

Измеряемое сопротивление r_x присоединяют к зажимам *Л* («Линия») и *З* («Земля»). В цепи катушек находятся постоянные резисторы r_1 и r_2. При вращении рукоятки *1* (рис. 89, *б*) генератора по катушкам проходят токи I_1 и I_2, которые создают вращающие моменты M_1 и M_2, поворачивающие подвижную систему вокруг оси. Моменты направлены навстречу друг другу. Так как магнитное поле неравномерно, моменты при повороте изменяются, а при некотором угле уравновешиваются. Стрелка прибора останавливается на определенном делении шкалы.

Угол поворота подвижной системы логометра зависит от отношения токов I_1 и I_2 и не зависит от их абсолютного значения. Поэтому напряжение, зависящее от частоты вращения рукоятки мегаомметра, в определенных пределах не влияет на показания прибора.

При измерении сопротивления изоляции электрической машины относительно ее корпуса провод от одного из зажимов *Л* или *З* присоединяется к выводу от обмотки, а от другого зажима — к корпусу машины. При измерении сопротивления изоляции между обмотками провода от зажимов *Л* и *З* присоединяют к выводам обмоток, а к зажиму *Э* — корпус машины, чтобы избежать влияния на показания прибора тока утечки. Рукоятку *1* прибора вращают по часовой стрелке с частотой вращения, близкой к 120 об/мин.

Шкала прибора может быть градуирована в мегаомах и килоомах. Переключение пределов измерения производят поворотом круглой ручки *3* на крышке прибора.

До начала измерений проверяют исправность мегаомметра. Прибор устанавливают в горизонтальное положение, замыкают накоротко провода от его зажимов *4* и вращают ручку привода генератора с частотой вращения 120 об/мин. Затем при разомкнутых проводах вращают генератор с той же частотой. При замыкании стрелка *2* должна остановиться на нуле шкалы, при размыкании — на отметке ∞ (бесконечность). Если при проверке несовпадение стрелки с указанными делениями шкалы превышает ±1 мм, прибор отправляют на проверку.

Кроме мегаомметров с генератором выпускают также мегаомметры с питанием от сети переменного тока через выпрямители.

Мегаомметры выпускают на номинальное напряжение холостого хода от 100 до 2500 В. Сопротивление изоляции статорных обмоток машин переменного тока напряжением до 500 В измеряют мегаомметрами на 500 В; для роторных обмоток синхронных электродвигателей с фазным ротором при измерении сопротивления изоляции применяют мегаомметры на напряжение 500 В. Приборы на напряжение 2500 В применяют для измерения сопротивления изоляции генераторов переменного тока напряжением выше 500 В.

При работе с мегаомметром следует помнить, что обмотки, присоединяемые к его зажимам, находятся при вращении генератора под напряжением, которое может быть опасным для жизни. Поэтому

нельзя дотрагиваться до них и зажимов прибора. Машина при измерениях должна быть отключена от сети, корпус ее должен быть надежно заземлен.

Электрическую прочность изоляции проверяют синусоидальным напряжением частоты 50 Гц в течение 1 мин. Для новых или капитально отремонтированных машин мощностью от 1 до 1000 кВт на номинальное напряжение 100 В и выше испытательное напряжение берут равным двукратному номинальному плюс 1000 В, но не менее 1500 В. Испытательное напряжение для обмоток возбуждения синхронных машин назначается в зависимости от режима их работы. Обмотки фазных роторов асинхронных двигателей испытывают двукратным номинальным напряжением роторной обмотки плюс 1000 В; если двигатель допускает торможение противовключением, испытательное напряжение повышают до четырехкратного плюс 1000 В.

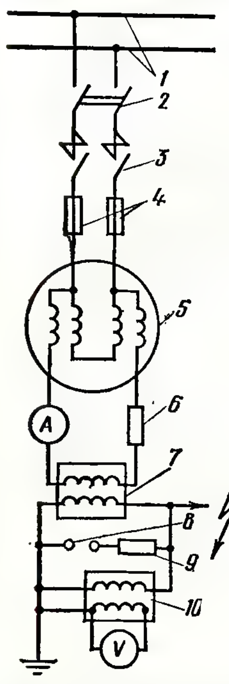


Рис. 90. Схема установки для испытания изоляции повышенным напряжением:

1 — сеть переменного тока, *2* — рубильник, *3* — контактор, *4* — предохранители, *5* — индукционный регулятор напряжения, *6* — защитный резистор, *7* — повышающий испытательный трансформатор, *8* — шаровой разрядник, *9* — добавочный резистор, *10* — измерительный трансформатор напряжения

После текущего ремонта электрических машин напряжение для проверки электрической прочности изоляции берут равным 80 % напряжения, которым испытывают новые и капитально отремонтированные машины.

Установка для испытания изоляции обмоток повышенным напряжением монтируется в металлическом шкафу, имеющем надежное заземление, или устанавливается внутри ограждения. Одна из возможных схем установки показана на рис. 90. Для изменения напряжения в ней предусмотрен индукционный регулятор *5*, который представляет собой асинхронную машину с фазным ротором и автотрансформаторной связью обмоток статора и ротора. Ротор заторможен и может поворачиваться с помощью червячной передачи, что позволяет производить плавную регулировку напряжения на зажимах регулятора.

В небольших установках вместо индукционного регулятора может быть использован потенциометр или лабораторный автотрансформатор ЛАТР. Защитный резистор *6* предохраняет регулятор от перегрузки при пробое проверяемой изоляции. Шаровой разрядник *8* ограничивает напряжение на испытываемой обмотке, предохраняя ее от повышения напряжения сверх заданного. Добавочный резистор *9* предохраняет трансформатор *7* от режима короткого замыкания при пробое разрядника.

В целях предохранения людей от попадания под опасное для жизни напряжение установка оборудуется концевыми выключателями,

которые срабатывают при закрывании и открывании дверей. Один из них при закрывании двери зажигает красную лампу, которая предупреждает, что установка включена, второй выключает установку при открывании двери.

Обмотка после отсоединения от установки может находиться под остаточным напряжением, опасным для человека. Поэтому после испытаний ее разряжают на землю в течение 5 мин.

Испытание междувитковой изоляции обмоток производится повышением напряжения на 30% сверх номинального значения в течение 3 мин на холостом ходу машины. При этих испытаниях пробой изоляции может сопровождаться особенно часто в крупных открытых машинах вспышкой с выбрасыванием капель расплавленного металла, от которых могут пострадать окружающие. Персонал при этих испытаниях следует удалять от места расположения машины.

В машинах постоянного тока при испытаниях повышенным напряжением возможно появление кругового огня на коллекторе, который опасен не только разбрызгиванием капель металла, но и ослепляющим действием. Поэтому, даже располагаясь на достаточно безопасном удалении, не следует смотреть на машину, особенно на ее коллектор.

Сопротивление обмоток при постоянном токе измеряют с помощью мостов (одинарных или двойных) или методом амперметра и вольтметра.

Схема одинарного (четырехплечевого) моста постоянного тока, который имеет три известных сопротивления r_1, r_2, r_3 и одно неизвестное измеряемое сопротивление r_x, образующие плечи моста, показана на рис. 91. Зажимы одной диагонали *AC* присоединены к аккумуляторной батарее *Ак*, а в другую измерительную диагональ *BD* включают гальванометр *G* с нулем посредине шкалы. Мост устроен таким образом, что одно из сопротивлений r_1, r_2 или r_3 можно изменять.

Измеряемое сопротивление присоединяют к зажимам моста и с помощью переключателей подбирают сопротивление, близкое к расчетному сопротивлению обмотки. После этого нажимом кнопки включают гальванометр. Если стрелка отклонится вправо от среднего положения, надо увеличить сопротивление, при отклонении влево — уменьшить. Подбирают такое положение переключателей регулируемого резистора, при котором стрелка гальванометра при его включении остается на нуле. Это значит, что ток в диагонали *BD* отсутствует.

Искомое сопротивление определяется равенством $r_x = r_1 r_3 / r_2$. Из формулы видно, что измерение сопротивления сводится к регулировке одного (соседнего с измеряемым) плеча r_1, называемого обычно плечом сравнения, при постоянном отношении двух других плеч. По цифрам на дисках переключателей или штырях изменяемого сопротивления r_1 отсчитывают искомое сопротивление.

Одинарные мосты для измерения сопротивлений менее 1 Ом не применяют, так как в этом случае они дают неточные результаты:

к измеряемому сопротивлению прибавляется сопротивление проводов и, что еще хуже, сопротивление их контактов. Двойные (шестиплечевые) мосты лишены этих недостатков. Чтобы получить большую точность, их применяют с зеркальными гальванометрами высокой чувствительности.

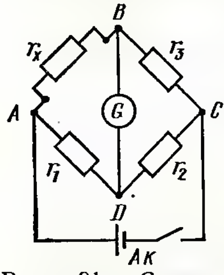


Рис. 91. Схема одинарного моста постоянного тока с плечом сравнения

Метод амперметра и вольтметра обеспечивает высокую точность измерений при условии применения приборов соответствующего класса. Он основан на использовании закона Ома для участка цепи, являющегося измеряемым сопротивлением r_x, значение которого определяется по известному падению напряжения на нем U_x и току I_x: $r_x = U_x/I_x$. Вольтметр (рис. 92) должен присоединяться непосредственно к зажимам измеряемого сопротивления. Если для присоединения применяют иглы, они должны быть хорошо заточенными. Следует использовать стальные иглы, так как латунные и медные быстро затупляются и не прокалывают пленку оксида на поверхности металла. Отсчет по приборам должен производиться двумя наблюдателями по команде одного из них.

Электрическое сопротивление проводников зависит от температуры. Расчетные сопротивления обычно в чертежах и обмоточных записках даются для температуры $t_р$, равной 15 или 20 °С. Замеренное сопротивление (Ом) пересчитывают, чтобы сравнить его с расчетным. Для медного проводника может быть использована формула $R_р = R_t 250/(250 + t - t_р)$, где $R_р$ — значение сопротивления, приведенного к расчетной температуре, Ом; R_t — замеренное сопротивление, Ом; t — температура при замере, °С; $t_р$ — расчетная температура, °С. Для алюминиевого провода в формулу вместо цифры 250 следует подставить цифру 260.

Рис. 92. Схема для измерения сопротивлений методом амперметра и вольтметра

При измерении сопротивления методом амперметра и вольтметра ток проходит по сопротивлению r_x и через вольтметр. Когда сопротивление вольтметра превосходит измеряемое более чем в 100 раз, потреблением тока в вольтметре пренебрегают и подсчет r_x (Ом) ведут по формуле $r_x = U/I$. Если сопротивление вольтметра $r_в$ недостаточно велико по сравнению с измеряемым, используют формулу

$$r_x = U/(I - U/r_в),$$

где I — показание амперметра, А.

В трехфазных обмотках с шестью выводами или при соединении фаз звездой с выводом нулевой точки сопротивление каждой фазы можно определить непосредственным измерением. При соединении фаз внутри обмотки наглухо измеряют сопротивление между каждой парой выводов: r_{31} — между С3 и С1, r_{12} — между С1 и С2,

r_{23} — между С2 и С3. Если расхождения в измеренных значениях сопротивлений не превышают 1,5—2%, сопротивление фазы определяют по формулам: $r = 0{,}5\ r_н$ — при соединении фаз в звезду, $r = 1{,}5 r_н$ — при соединении фаз в треугольник, где $r_н$ — среднеарифметическое значение трех измеренных сопротивлений.

Ток и потери холостого хода определяют у каждого вновь изготовленного или капитально отремонтированного асинхронного двигателя. За линейный ток холостого хода принимают среднеарифметическое значение результатов измерений в трех фазах. В случае отсутствия заводских данных по допустимым токам холостого хода для асинхронных двигателей старых серий, серии А и ориентировочно для серии А2 может быть использована табл. 16.

Таблица 16. **Предельно допустимые значения тока холостого хода для трехфазных асинхронных двигателей**

Мощность электродвигателя, кВт	Ток холостого хода, %, при частоте вращения, об/мин					
	3000	1500	1000	750	600	500
0,1—0,5	60	75	85	90	95	—
0,51—1,0	50	70	75	80	85	90
1,1—5,0	45	65	70	75	80	85
5,1—10,0	40	60	65	70	75	80
10,1—25,0	30	55	60	65	70	75
25,1—50,0	20	50	55	60	65	70
50,1—100	—	40	45	50	55	60

Примечание. Перед измерением тока электродвигатели должны быть обкатаны, т. е. проработать без нагрузки 0,5—1 ч при мощности до 100 кВт и не менее 2 ч при мощности выше 100 кВт.

Увеличение тока и потерь холостого хода сверх нормы может быть вызвано уменьшением числа витков в обмотке статора, смещением сердечников ротора и статора в осевом направлении. Увеличенный ток холостого хода при нормальных потерях холостого хода свидетельствует об увеличении воздушного зазора.

Коэффициент мощности определяют из опытных данных, полученных при работе двигателя под нагрузкой,

$$\cos\varphi = P_1/(\sqrt{3}\, U_н I),$$

где $U_н$ — линейное напряжение, P_1 — потребляемая мощность, I — линейный ток.

Температуру обмоток электрических машин измеряют ртутными и спиртовыми термометрами, термопарами и терморезисторами.

Средние температуры обмоток машин определяют методом сопротивления, используя свойство проводников увеличивать сопротивление при нагреве. Замеряя сопротивление обмотки в холодном r_x и горячем $r_г$ состояниях, определяют превышение температуры медной обмотки над температурой охлаждающей среды (°С) по фор-

муле

$$\Delta t' = \frac{r_г - r_х}{r_х}(235 + t_х) + t_х - t_о,$$

где $t_х$ — температура обмотки в холодном состоянии, $t_о$ — температура охлаждающей среды. Для алюминиевых обмоток вместо числа 235 в формулу подставляют 245.

Предельные допустимые превышения температуры частей электрических машин при температуре газообразной охлаждающей среды 40 °С и высоте над уровнем моря не более 1000 м не должны превышать значений, указанных в табл. 17. При температуре больше 40 °С и высоте более 1000 м эти значения должны быть уменьшены в соответствии с ГОСТ 183—74. (Машины электрические вращающиеся. Общие технические требования.)

Таблица 17. **Предельные длительно допустимые превышения температуры**

Части электрических машин	Δt и $\Delta t'$, °С, при классе нагревостойкости изоляции									
	A		E		B		F		H	
	Δt	$\Delta t'$	Δt	$\Delta t'$	Δt	$\Delta t'$	Δt	$\Delta t'$	Δt	$\Delta t'$
1. Обмотки переменного тока машин мощностью менее 5000 кВ·А или с длиной сердечника менее 1 м	50	60	65	75	70	80	85	100	105	125
2. Однорядные обмотки возбуждения с оголенными поверхностями	65	65	80	80	90	90	110	110	135	135
3. Обмотки возбуждения малого сопротивления и компенсационные	60	60	75	75	80	80	100	100	125	125
4. Обмотки возбуждения, кроме указанных в п. 2, 3	50	60	65	75	70	80	85	100	105	125
5. Якорные обмотки, соединенные с коллектором	50	60	65	75	70	80	85	100	105	125
6. Сердечники и другие стальные части, соприкасающиеся с изолированными обмотками	60	—	75	—	80	—	100	—	125	—
7. Коллекторы и контактные кольца	60	—	70	—	80	—	90	—	100	—

Примечание. Δt — превышение температуры при измерении методом термометра, $\Delta t'$ — методом сопротивления.

Класс нагревостойкости части электрической машины определяется примененным в ней материалом с наиболее низкой нагревостойкостью. Например, если для пазовой изоляции применен материал с нагревостойкостью по классу В на основе слюды, а для обмотки провод ПБД с хлопчатобумажной изоляцией, которая имеет класс нагревостойкости А, обмотка будет иметь класс нагревостойкости А.

Метод сопротивления позволяет определить только средние значения температуры обмоток. В отдельных точках температура может быть выше средней. Так, например, в открытых машинах с воздушным охлаждением, у которых хорошо охлаждаются лобовые части обмоток, пазовые части нагреваются больше, чем лобовые. Превышение температуры в отдельных наиболее нагретых точках должно быть не более: 65 °С — для изоляции класса А, 90 °С — для изоляции класса В, 110 и 135 °С — соответственно для изоляции классов F и H.

Температуру обмоток и других частей электрической машины в отдельных точках, а также температуру охлаждающего воздуха измеряют термометрами расширения (ртутными и спиртовыми), термопарами и терморезисторами.

Термометр расширения более точно показывает температуру нагретого места, если его резервуар обернуть несколькими слоями тонкой фольги из алюминия или свинца. Образовавшийся комочек плотно прижимают к нагретому месту, а поверх накладывают теплоизолирующий слой ваты или войлока. Температуру охлаждающего воздуха измеряют, поместив термометр в закрытый и заполненный маслом металлический стаканчик, защищающий термометр от лучистой энергии, испускаемой окружающими источниками теплоты.

Термопара представляет собой две изолированные проволоки из разных металлов, сваренные друг с другом на одном конце. Место сварки образует шарообразную головку термопары; при нагревании или охлаждении головки в ней возникает эдс, которая зависит от температуры. Измеряя эдс чувствительным милливольтметром, можно судить о температуре места, в которое помещена головка (температуре горячего спая).

Для измерения температуры в электрических машинах обычно применяют константановую и медную проволоки диаметром 0,3—1,0 мм. Термопару из тонкой проволоки можно поместить в самые труднодоступные места, например в паз машины.

В месте, где свободный конец константановой проволоки соединяется с медным зажимом измерительного прибора, также возникает эдс, которая направлена навстречу эдс головки,— эдс холодного спая. Милливольтметр измеряет разность эдс, поэтому для определения температуры головки следует к показаниям прибора, выраженным в градусах, прибавить температуру холодного спая, измеряемую термометром.

Терморезистор представляет собой тонкую медную проволоку, намотанную вокруг изоляционной полоски или цилиндра. Замеряя сопротивление проволоки, определяют температуру того места, где помещен терморезистор. Сопротивление терморезистора при температуре 0 °С обычно равно 53 Ом. Сопротивление терморезистора при других температурах составляет:

Температура, °С	0	25	50	75	100	125	150
Сопротивление, Ом	53,00	58,63	64,26	69,89	75,53	81,16	86,19

Температура подшипников не должна превышать предельно допустимых значений: 80 °С — для подшипников скольжения (температура масла при этом должна быть не более 65 °С); 100 °С — для подшипников качения. Более высокая температура допускается, если применены специальные подшипники качения или сорта масел при соответствующих материалах вкладышей для подшипников скольжения.

Контрольные вопросы

1. Как производятся статическая и динамическая балансировки роторов? Опишите устройство станка для динамической балансировки.
2. Какие инструменты и приспособления применяют для ускорения и повышения качества сборочных работ?
3. Как производится сборка подшипниковых опор электрических машин?
4. Расскажите о процессах сборки электрических машин постоянного и переменного токов.
5. Каким испытаниям подвергаются электрические машины после ремонта? Расскажите о методах, приборах и установках для проведения испытаний.
6. Какие правила безопасности надо соблюдать при балансировке, сборке и испытаниях электрических машин?

ГЛАВА VIII
ТАКЕЛАЖНЫЕ РАБОТЫ

§ 44. Общие указания при выполнении такелажных работ

Такелажными называют работы, связанные с подъемом, перемещением и опусканием грузов. При ремонте приходится производить погрузку, выгрузку и транспортирование электрических машин и их частей массой до нескольких тонн. Такелажные работы должны проводиться при строгом соблюдении правил безопасности, даже их малейшее нарушение может привести к тяжелым травмам и порче изделий. Поэтому управление грузоподъемными машинами и механизмами поручается квалифицированным специалистам, прошедшим обучение и аттестацию. К управлению механизмами для поднятия грузов с пола и верстака (тельферы, кран-балки, электролебедки и т. п.) могут быть допущены рабочие-электрослесари после специального обучения и соответствующей проверки знаний по управлению этими механизмами.

При такелажных работах должны применяться только проверенные и исправные подъемные и транспортные приспособления. Нельзя пользоваться подъемниками и транспортными механизмами грузоподъемностью меньшей, чем масса поднимаемого груза.

Особое внимание при такелажных работах следует обращать на состояние грузозахватных приспособлений (стропов, клещей, скоб,

траверс), которые предназначены для крепления груза на крюке грузоподъемного механизма. Наиболее часто для этой цели приме-

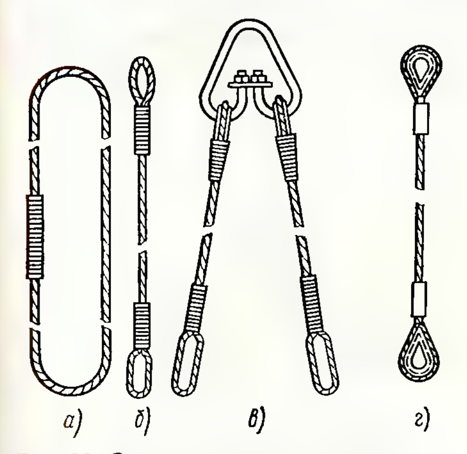


Рис. 93. Стропы из стальных канатов:
а — универсальный кольцевой, *б* — одноветвевой, *в* — двухветвевой, *г* — одноветвевой с коушами

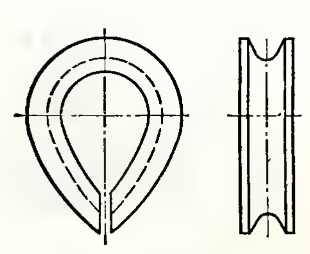


Рис. 94. Стальной коуш

няют стропы, которые изготовляют из стальных и пеньковых канатов. Стропы должны легко надеваться на крюк механизма, сниматься с него и освобождаться от груза. Пеньковые стропы применяют для легких грузов массой до 0,2 т.

Универсальный стальной строп (рис. 93, *а*) имеет форму замкнутого кольца, полученного сплетением концов троса. Облегченный строп (рис. 93, *б*) делают с двумя петлями на концах. Применяют также двухветвевые (рис. 93, *в*) и четырехветвевые стропы. Они могут заканчиваться петлями или крюками для крепления груза. С целью предохранения канатов от крутых перегибов и износа в петли стропов устанавливают специальные детали, которые называют коушами (рис. 93, *г*; рис. 94).

Для перемещения деталей круглого сечения часто применяют клещевой захват (рис. 95), который позволяет сократить время на закрепление груза на крюке механизма.

Рис. 95. Клещевой захват для круглых деталей

В процессе подъема или опускания груза при рывке натяжение стропа может ослабнуть, что приводит иногда к соскальзыванию его с крюка. Для повышения безопасности при производстве такелажных работ рекомендуется применять специальные крюки (рис. 96) со ско-

бой-защелкой, которая предотвращает соскальзывание стропа с крюка подъемного механизма.

Стальные канаты и стропы поступают на предприятие со свидетельством (сертификатом) завода-изготовителя об испытании каната (стропа). Если сертификат отсутствует, они должны быть испытаны

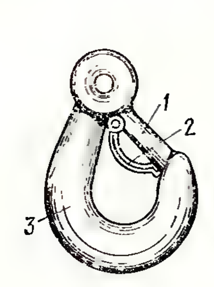


Рис. 96. Безопасный крюк с замком:

1 — скоба, *2* — пружина, *3* — захват

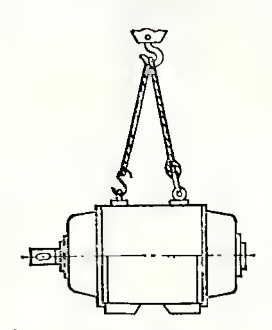


Рис. 97. Строповка электрических машин малой и средней мощности

на предприятии. После проведения испытаний на каждом такелажном приспособлении закрепляется бирка с указанием грузоподъемности и даты испытания. Стропы подлежат периодическому осмотру через каждые 10 дней и забраковываются при определенном числе оборванных проволок в зависимости от конструкции, диаметра каната, уменьшения сечения проволок в результате их износа и коррозии.

Грузоподъемность стропа должна соответствовать максимальному усилию, которое будет на него передаваться от массы поднимаемого груза с учетом угла наклона стропа и коэффициента запаса прочности. В соответствии с правилами Госгортехнадзора стропы должны иметь не менее чем шестикратный запас прочности. При такелаже электрических машин и их частей угол между ветвью стропа и вертикалью, опущенной по оси крюка грузоподъемного механизма, должен быть не более 45°. Нагрузка S на одну ветвь стропа подсчитывается по формуле $S=(1/\cos \alpha)\ (Q/n)$, где α — угол между вертикалью и ветвью стропа, n — число ветвей стропа, Q — масса поднимаемого груза.

Наиболее ответственной операцией при такелажных работах является строповка груза. От правильного выбора стропа, места его крепления на грузе и правильного закрепления стропа на крюке грузоподъемного механизма во многом зависит безопасность подъема, перемещения и опускания груза.

Электрические машины обычно поднимают за рым-болты (рис. 97) стропами с крюками. При строповке роторов за бочку (рис. 98, *а*) под стропы подкладывают деревянные бруски для предохранения

сердечника от повреждения. Строповка роторов за концы вала (рис. 98, *б*) осуществляется обычно с помощью траверсы, которая позволяет придать ветвям вертикальное положение и предохранить лобовые части обмотки и коллектор при подъеме и транспортировке. Не разрешается накладывать стропы на коллектор, контактные кольца и шейки валов под подшипники.

Особую осторожность следует соблюдать перед началом подъема груза. Надо проверить, чтобы крюк подъемного механизма располагался над центром тяжести поднимаемого груза. На грузе не должно быть незакрепленных предметов (деталей, крепежа, инструмента). Следует убедиться, чтобы груз во время подъема не смог за что-нибудь зацепиться, а также не должно быть людей вблизи места подъема груза. Перед подачей команды на подъем сам стропальщик должен выйти из опасной зоны перемещения груза и грузоподъемного механизма; при необходимости удержания груза используют оттяжки и крючья.

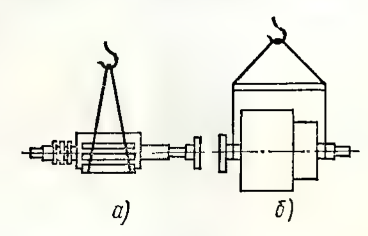


Рис. 98. Строповка роторов электрических машин:

а — за бочку ротора, *б* — с помощью специальной траверсы (или распорки)

После натяжения стропов проверяют правильность их наложения, чтобы исключить перевертывание груза при подъеме. При опасном наклоне груза следует немедленно дать команду на его опускание и произвести перестроповку. Грузы большой массы сначала поднимают на небольшую (до 200 мм) высоту и в этом положении вновь проверяют равномерность натяжения стропов и тормоз подъемного механизма. Перед снятием стропов после перемещения груза проверяют устойчивость его положения. Не следует устанавливать груз на край верстака.

При работе с подъемно-транспортными механизмами (кранами, кран-балками, электроталями) необходимо следить, чтобы груз не переносили над людьми, оповещать сигналом о движении груза, не оставлять груз висящим на крюке дольше, чем это необходимо для выполнения операции.

Рым-болты в случае их использования для подъема машины следует проверить и довернуть их до отказа. Если болт очень туго входит в гнездо, его следует вывернуть, очистить гнездо от грязи и в случае необходимости исправить резьбу в гнезде и на болте.

§ 45. Грузоподъемные механизмы

Широкое применение при такелажных работах находят блоки, полиспасты, тали, электротали, домкраты.

Блоки являются основной частью полиспастов, которые, в свою очередь, входят в состав кранов, лебедок, талей и других механизмов. Они служат для изменения направления каната (неподвижные блоки) или для подъема и перемещения грузов (подвижные бло-

ки). Блок состоит из грузового крюка *3* (рис. 99, *а*) с траверсой, двух серег *4* с предохранительными щеками, роликов *2* на осях и проушины *1* для крепления каната. По числу роликов различают одно-, двух- и многороликовые блоки. Многороликовые блоки имеют от трех до шести роликов.

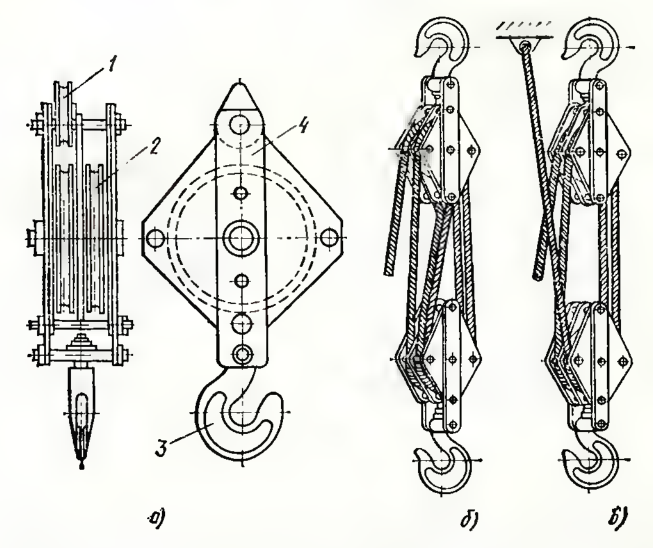


Рис. 99. Двухроликовый блок (*а*) и полиспасты грузоподъемностью 10 тс с канатом, закрепленным на блоке (*б*) и вне блока (*в*)

Полиспаст состоит из неподвижного верхнего блока (рис. 99, *б*) с траверсой и крюком, нижнего подвижного блока и каната, который последовательно огибает ролики обеих блоков. Один конец каната закрепляется сжимами на верхнем или нижнем блоке, второй прикрепляется к барабану тяговой лебедки грузоподъемного механизма или вне блока (рис. 98, *в*). Применение полиспаста уменьшает усилие в канате, направленном к лебедке, т. е. дает выигрыш в силе, но увеличивает длину каната, навиваемого на барабан лебедки, что уменьшает скорость перемещения груза. Место закрепления каната влияет на грузоподъемность полиспаста.

Тали применяют для подъема грузов на небольшую высоту. По роду привода различают тали ручные, электротали, приводимые в действие от электродвигателей, и пневмотали, приводимые в действие сжатым воздухом. Тали имеют тормоза, автоматически препятствующие спуску поднятого груза.

Ручные тали приводятся в действие от замкнутой цепи *1* (рис. 100) или рычажного храпового механизма. Механизм подъема размещен в подвесном корпусе *3* и соединен с подвижным блоком *4* грузовой калиброванной сварной цепью *2*. Наибольшее применение получили червячные и шестеренные (с зубчатой передачей) тали.

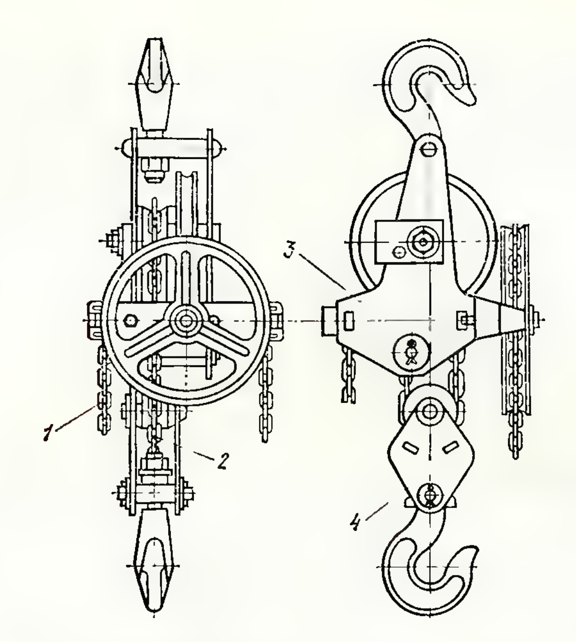


Рис. 100. Таль червячная с ручным приводом

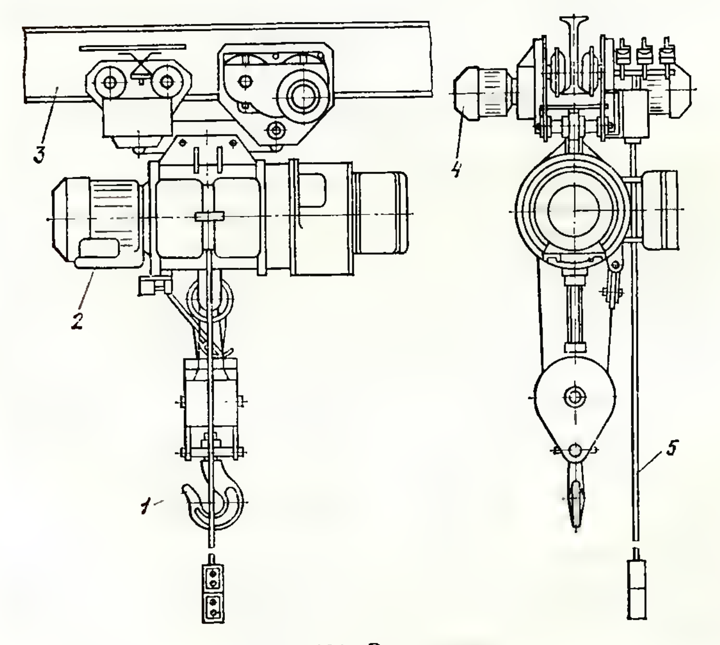


Рис. 101. Электроталь

Электрические тали (тельферы) являются наиболее распространенным внутрицеховым транспортным механизмом, позволяющим производить не только подъем и опускание груза, но и его горизонтальное перемещение. Груз подвешивается на крюке *1* (рис. 101); он перемещается вертикально с помощью электродвигателя *2*, а горизонтально по монорельсу *3* — с помощью тележки, которая приводится в движение электродвигателем *4*. Подвешенный на гибком проводе блок *5* кнопок обеспечивает удобное управление двигателями. Электротали освобождают рабочих от затрат больших физических усилий на перемещение грузов большой массы.

Домкраты служат преимущественно для подъема тяжелых грузов на небольшую высоту (обычно не более 200 мм). Различают домкраты с ручным и гидравлическим приводом.

Контрольные вопросы

1. Кто допускается к выполнению такелажных работ?
2. Какие требования предъявляются к грузозахватным приспособлениям?
3. Как выполняется строповка груза?
4. Какие меры предосторожности принимают при подъеме груза?
5. Перечислите основные правила безопасности при подъеме и транспортировании электрических машин и их частей?
6. Расскажите об устройстве грузоподъемных механизмов.

ГЛАВА IX

БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА И ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ НА ПРЕДПРИЯТИИ

§ 46. Правила безопасности на территории и в цехах предприятия

На территории предприятия надо быть особенно внимательным в местах движения транспортных средств, следить за звуковой и световой сигнализацией, точно выполнять все требования на плакатах, регламентирующих правила движения. При пересечении проезжей части дороги или железнодорожных путей надо пропускать движущийся транспорт. Запрещается ходить по железнодорожным путям. Нельзя пролезать под вагонами при кратковременных стоянках поездов. Неожиданное движение локомотива может привести к тяжелым последствиям.

Не следует проходить через узкие проходы возле автомашин, железнодорожных вагонов, подъемных кранов и других транспортно-подъемных механизмов, так как можно получить тяжелое увечье.

В зоне действия подъемно-транспортных средств надо строго выполнять все указания запрещающих плакатов, внимательно следить за сигнализацией при подъеме, перемещении и опускании грузов. Надо без промедления сходить с пути перемещения грузов.

Нельзя стоять или пробегать под перемещаемым, поднимаемым или опускаемым грузом. Несчастный случай может произойти при внезапном рывке и падении груза. Особое внимание следует проявлять в местах, где производится переворачивание (кантовка) груза.

На территории завода возможны также различные электротравмы. На ней всегда находится большое количество электротехнических устройств: трансформаторов, выключателей, распределительных щитков, электрических машин, кабелей, возле которых следует вести себя очень внимательно. Металлические корпуса этих устройств могут оказаться под напряжением в результате увлажнения и пробоя электрической изоляции.

В цехах следует выполнять все изложенные выше правила безопасности. Кроме того, необходимо соблюдать дополнительные правила, связанные с особенностями производственного процесса в данном цехе. В цехе может произойти несчастный случай из-за неисправности электропроводки, захвата одежды движущимися частями станков и механизмов, ожогов раскаленными каплями металла на участках пайки и сварки, поражения электрическим током при прикосновении к токопроводящим частям электрооборудования. Надо также быть особенно внимательным в зоне действия подъемно-транспортных средств, не заходить на испытательные станции и пульты без особого разрешения.

Каждый рабочий, поступающий на предприятие, обязательно должен пройти в отделе безопасности труда вводный инструктаж. Прохождение вводного инструктажа подтверждается контрольным листом, который сдается администрации цеха. Без предъявления контрольного листа ни один новый рабочий к работе в цехе не допускается.

Перед началом работы на рабочем месте каждый рабочий, в том числе и учащийся, должен пройти инструктаж независимо от опыта, стажа работы и знаний по безопасности труда, полученных ранее на занятиях и во время предыдущих инструктажей.

При переходе на новое рабочее место нельзя приступать к работе без дополнительного инструктажа по безопасности труда. В зависимости от категории опасности работ через определенные промежутки времени проводится также повторный периодический инструктаж. О прохождении инструктажа администрация в специальном журнале или карте делает пометку, которая подтверждается подписью рабочего и лица, проводившего инструктаж (обычно мастера производственного участка).

К работам по подъему и перемещению грузов кранами и другими механизмами допускаются лица, прошедшие специальное обучение.

§ 47. Электробезопасность

Поражение человека электрическим током происходит при соприкосновении его с токопроводящими частями, оголенными проводами, а также металлическими нетокопроводящими частями электроустановок, которые могут оказаться под напряжением в результате

пробоя электрической изоляции. На электроремонтных предприятиях большинство помещений относится к категории с повышенной опасностью поражения электрическим током.

Опасность поражения электрическим током отличается тем, что человек не может дистанционно без специальных приборов обнаружить наличие напряжения.

Электрический ток, проходя через живые ткани, оказывает термическое, электрическое и биологическое воздействие. При прохождении через тело человека значительных (более 1 А) токов возможны ожоги. Электрические знаки (метки тока) возникают при хорошем контакте с токопроводящими частями и представляют собой припухлость с затвердевшей кожей, резко очерченной белой или серой каймой по краям.

Электрометаллизация кожи — проникновение под ее поверхность частиц металла — происходит при горении дуги или электролизе в месте соприкосновения человека с токопроводящими частями. К электрическим травмам относят также поражение глаз в результате воздействия ультрафиолетового излучения электрической дуги и механические повреждения (ушибы, переломы) при падении с высоты из-за резких непроизвольных движений или потери сознания, вызванных действием тока.

Электрический удар (воздействие тока на нервную систему и мышцы) происходит обычно при токах до 1 А и напряжении до 1000 В. При ударе может возникнуть паралич пораженных органов. Паралич дыхательных мышц и мышц сердца может привести к смертельному исходу. Небольшие токи до 10 мА вызывают лишь неприятные ощущения; переменный ток 20—25 мА — паралич рук, при этом человек неспособен самостоятельно освободиться от тока; 50—100 мА приводит к остановке дыхания и сердца.

Ток, проходящий через тело человека, зависит не только от напряжения, но и сопротивления цепи. Если кожа рук человека сухая и мозолистая, одежда и обувь сухие, ноги стоят на резиновом коврике, сопротивление может оказаться таким большим (несколько сотен тысяч ом), что ток не окажет практически никакого воздействия на организм.

Опасность поражения электрическим током зависит от характера прикосновения человека к токопроводящим частям. Наиболее опасно двухполюсное прикосновение (одновременно к двум фазам), при котором человек оказывается под рабочим напряжением сети. При однополюсном прикосновении, которое нередко наблюдается в моменты случайного соприкосновения человека с одним из проводов сети, напряжение к человеку прикладывается почти в 2 раза меньше рабочего напряжения.

Для уменьшения опасности поражения электрическим током в электроустановках применяют малые напряжения. Однако этот метод широко не используется из-за высокой стоимости протяженных сетей малого напряжения. Поэтому область применения напряжений 12 и 36 В ограничивается ручным электрифицированным инструментом, ручными и станочными лампами, которые эксплуатируются в

помещениях с повышенной опасностью (с токопроводящими полами, повышенной влажностью и т. п.). Чтобы исключить возможность опасного соприкосновения с изолированными токопроводящими частями, применяют ограждения и блокировки. Сетчатые ограждения с запирающимися дверьми используют в установках до 1000 В и выше.

Различают электрические и механические блокировки. Электрические блокировки осуществляют разрыв цепи специальными контактами, которые устанавливают в дверях ограждений, крышках и дверцах кожухов. При их открывании электроустановки отключаются. После закрывания дверей электроустановка не включается. Чтобы ее включить, необходимо нажать кнопку пуска. Этим исключается опасность попадания оператора под напряжение при его нахождении внутри ограды и случайном закрывании дверей. Механические блокировки применяют в электрических аппаратах.

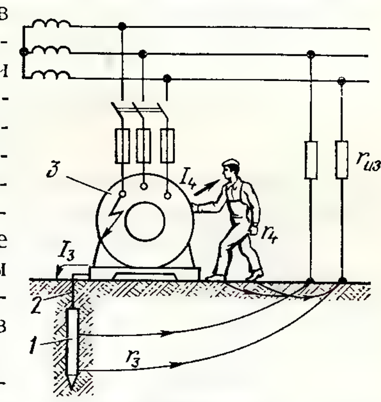


Рис. 102. Заземление корпуса электрической машины

Защитное заземление является основной мерой защиты при однополюсном прикосновении к металлическим частям, случайно оказавшимся под напряжением. С этой же целью применяют зануление и защитное отключение.

Заземляющее устройство состоит из заземлителей *1* (рис. 102), находящихся в непосредственном соприкосновении с землей, и заземляющих проводников *2*, соединяющих металлические части (корпуса) *3* электроустановок с заземлителями.

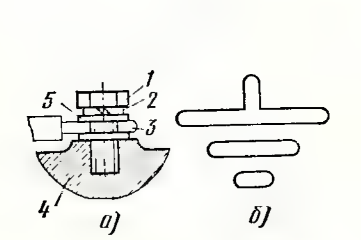
Человек, дотронувшись до заземленного корпуса при пробое изоляции, оказывается под напряжением. Чтобы снизить это напряжение до безопасного, устанавливают определенные требования к сопротивлению заземления $r_з$. В электроустановках напряжением до 1000 В оно не должно превышать 4 Ом. Как видно из рисунка, ток $I_з$ при пробое изоляции на корпус пройдет через заземлитель и далее через изоляцию «здоровых фаз» ($r_{из}$ — их сопротивление относительно земли) к источнику питания. Ток через человека I_4 будет тем меньше, чем выше его сопротивление r_4 и чем меньше сопротивление заземляющего устройства.

Корпуса электрооборудования с номинальными переменным напряжением выше 42 В и постоянным напряжением выше 110 В заземляют.

Все электрические машины выпускают с заземляющими зажимами. В двигателях серии 4А предусматриваются два зажима: один на корпусе и один во вводном устройстве. Двигатели с высотами оси вращения 50—63 мм могут иметь заземляющий зажим только во вводном устройстве.

Конструкция заземляющего зажима с болтом *1* представлена на рис. 103, *а*. Зажим снабжен устройством, препятствующим ослаблению контакта между корпусом *4* и заземляющим проводником *3*. Для этой цели устанавливают пружинную шайбу *2*, заостренные концы которой, врезаясь в головку винта и шайбу *5*, препятствуют отвинчиванию болта. Момент трения между шайбой и заземляющим проводником создается прижимом шайбы *5* за счет упругих свойств пружинной шайбы.

Для присоединения заземляющего проводника на корпусе вокруг болта расположена неокрашенная контактная площадка, которая



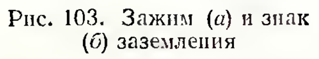


Рис. 103. Зажим (*а*) и знак (*б*) заземления

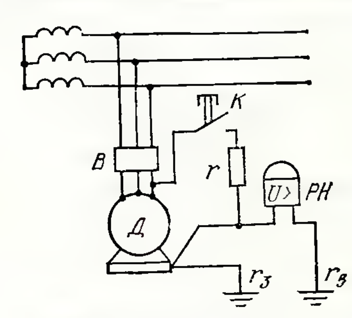


Рис. 104. Схема защитного отключения

защищена от коррозии. Болт изготовляют из коррозионно-стойкого металла или покрывают металлом, предохраняющим его от коррозии. Возле зажима помещают знак заземления (рис. 103, *б*).

Диаметр болта выбирается в зависимости от номинального тока электрической машины: при токе до 16 А диаметр резьбы болта должен быть не менее М4; выше 16 до 25 А — не менее М5, выше 25 до 100 А — не менее М6, выше 100 до 250 А — не менее М8 и т. д.

Двигатели серии 4А в тропическом исполнении имеют два зажима заземления на корпусе и один во вводном устройстве.

Занулением называется электрическое соединение с нулевым защитным проводником в трехфазовой сети металлических нетокопроводящих частей, которые могут оказаться под напряжением. Замыкание фазы на корпус при таком соединении превращается в однофазное короткое замыкание, т. е. замыкание между фазным и нулевым проводами, при котором по проводам проходит ток, вызывающий перегорание плавких вставок или срабатывание автоматического выключателя. Установка отключается от сети. Нулевой провод соединяется с землей, поэтому при появлении напряжения на металлическом корпусе в первый момент до срабатывания защиты зануление действует так же, как и защитное заземление.

Защитное отключение получило наибольшее распространение в сетях напряжением до 1000 В, особенно для переносного ручного инструмента. Оно обеспечивает автоматическое отключение участка сети за время не более 0,2 с с момента замыкания. Защитное отключающее устройство состоит из прибора, например реле напряжения

РН (рис. 104), реагирующего на изменение напряжения, и автоматического выключателя *В*. Реле напряжения включено между корпусом *Д* электрооборудования и вспомогательным заземлителем $r_в$. При замыкании фазы на корпус напряжение на нем окажется выше напряжения на дополнительном заземлителе $r_з$. Реле напряжения замкнет цепь отключающей катушки выключателя, что вызовет отключение поврежденного электроприемника. Кнопка *К* предназначена для контроля исправности схемы. Ее нажатием проверяют срабатывание защиты.

§ 48. Правила безопасности при выполнении слесарных работ

Работа с применением различных инструментов в процессе обработки металлов и других материалов может привести к серьезным травмам, если пренебречь мерами безопасности.

На слесарном участке необходимо выполнять следующие правила: устанавливать тиски на верстаке так, чтобы можно было занять удобное положение во время работы; при заточке инструмента пользоваться защитными очками или стеклом; рубку производить только остро отточенным инструментом, прочно закрепляя заготовку в тисках; при опиливании не ударять кольцом рукоятки напильника о деталь во избежание соскакивания рукоятки и ранения руки; не сдувать опилки ртом, чтобы не засорить глаза; не работать напильником без рукоятки или с расколотой рукояткой; не касаться опиливаемых поверхностей деталей, так как это вызывает проскальзывание напильника и может привести к травме; при пайке и сварке для предохранения глаз от расплавленных частиц металла и светового излучения необходимо надевать защитные очки.

Слесарный верстак должен быть оборудован защитной сеткой, предохраняющей находящихся вблизи людей от отлетающих частиц металла.

Инструменты должны быть в исправном состоянии. Рукоятки молотков изготовляют только из бука, березы и других мелкослойных пород дерева. Мягкие или крупнослойные породы — сосну, ель, липу — применять для этой цели не разрешается.

Молоток считается непригодным для работы при ослаблении посадки рукоятки в отверстие, наличии сколов или трещин на рукоятке и наклепа на ударной части инструмента.

Затылочные части подбоек, зубил и других инструментов, по которым наносится удар молотком, не должны быть разбитыми или сколотыми. Напильники можно использовать только с деревянной или пластмассовой ручкой. Ручка со стороны посадочного отверстия должна быть заключена в металлическое кольцо. Гаечные ключи надо подбирать в соответствии с размерами гаек (головок болтов). Применять подкладку на грань гайки при использовании ключей запрещается. Увеличивать плечо ключа, применяя трубы или другие предметы, также не разрешается.

Слесарю часто приходится пользоваться сверлильным и заточным станками. При работе на станках нужно соблюдать следующие правила: нельзя приступать к работе без предварительного обучения и инструктажа; следует проверять исправность ограждений; длинные волосы нужно убирать под головной убор; длинные и широкие рукава — завязывать у кисти рук.

На сверлильном станке травма может быть нанесена стружкой или самой деталью, которая при слабом закреплении может прийти во вращательное движение. Деталь надо прочно закреплять в тисках. Мелкие детали удерживают ручными тисками (клещами).

Сверло из патрона можно вынимать лишь после полного останова станка. Перед включением надо удалить со стола все лишние предметы и убедиться, что оно не угрожает окружающим. Сверло или зенкер нельзя слишком сильно прижимать к детали, так как это может привести к ее вырыву из тисков или поломке инструмента, осколки которого могут повредить глаза. Нельзя касаться рукой вращающегося сверла, удалять рукой стружку, охлаждать вращающееся сверло мокрой тряпкой, а также работать в рукавицах, так как они могут быть захвачены инструментом.

Особенно осторожного и внимательного отношения требует работа на заточном станке. Несоблюдение правил безопасности может привести к серьезным травмам в результате разрыва шлифовального круга, попадания в глаза отлетающих мелких частиц, захвата неогражденными вращающимися частями одежды.

Во время работы на заточном станке надо стоять сбоку, а не против круга. Деталь подводят к кругу плавно, без лишнего нажима.

§ 49. Правила безопасности при текущем ремонте и обслуживании электрических машин

Обслуживание электрических машин сопряжено с опасностью получения механических травм от вращающихся частей и поражения электрическим током. Все вращающиеся и токопроводящие части должны иметь ограждения. Шлифовку контактных колец или коллектора надо производить в защитных очках с помощью колодок из изоляционного материала, в прилегающей к телу одежде, рукава должны быть застегнуты у кистей. Не следует одновременно касаться токопроводящих и заземленных частей машины. Инструмент надо применять только с изолированными ручками.

Работа в цепи реостата вращающегося двигателя должна производиться с соблюдением мер предосторожности, как при работе под напряжением в установках до 1000 В. Цепь реостата должна быть замкнута накоротко.

После останова двигателя для ремонта без разборки на приводе выключателя вывешивается плакат «Не включать — работают люди!». Ручное включение и отключение машин напряжением выше 1000 В необходимо выполнять в диэлектрических перчатках и калошах или на коврике. После вывешивания плаката проверяют отсутствие напряжения на отключенном участке сети.

В электроустановках переменного тока напряжением до 1000 В проверку удобно выполнять однополюсным указателем напряжения, который изготовляют в виде автоматической ручки с изолирующим корпусом *2* (рис. 105). Металлическим щупом *1* касаются проводника, палец руки кладут на металлический контакт *3*. Электрическая цепь замыкается через человека; при наличии напряжения загорается неоновая лампа *4* внутри корпуса. Чтобы исключить ошибку при плохой проводимости пола, второй рукой касаются заземленного предмета.

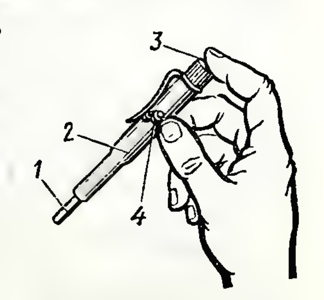


Рис. 105. Однополюсный указатель напряжения

Наличие напряжения в сети постоянного тока определяют двухполюсным указателем, который имеет два щупа и неоновую лампу. Щупами касаются двух проводов. Этот указатель пригоден и для сети переменного тока. Использование контрольной лампы вместо указателя запрещается, так как при случайном включении на большее напряжение или ударе возможен взрыв ее колбы.

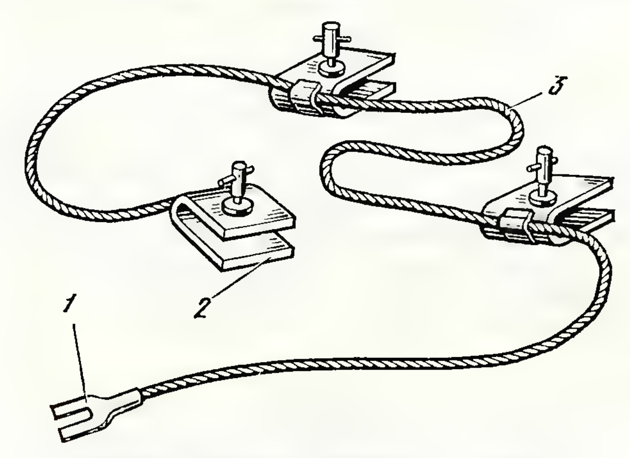


Рис. 106. Переносное заземление — закоротка:
1 — наконечник для присоединения к заземляющей шине, *2* — винтовой зажим, *3* — гибкий провод

В оперативном журнале делается запись об отключении машины. Включение производят только после отметки в журнале об окончании работ с указанием сообщившего ответственного лица.

Отключенные двигатели насосов и вентиляторов могут неожиданно прийти в движение под напором воды или воздуха. В таких установках необходимо закрыть вентили или другое закрывающее устройство, запереть его на замок и вывесить плакат «Не открывать —

работают люди!». Если трехфазный двигатель отсоединен от сети, концы всех фаз питающего кабеля замыкают накоротко и заземляют переносным заземлением (рис. 106). Работа в пусковой аппаратуре допускается только при полном снятии напряжения.

Испытания изоляции повышенным напряжением и измерение ее сопротивления представляют особую опасность для электротехнического персонала и должны проводиться с соблюдением дополнительных мер безопасности. Эти контрольные операции должны выполняться бригадой в составе не менее двух человек, прошедших специальную подготовку. Корпуса и кожухи должны быть при испытании заземлены.

Сопротивление изоляции измеряют мегаомметрами на напряжение порядка 1000 или 2500 В. Прикосновение к зажимам самого мегаомметра не опасно из-за малой мощности его генератора и большого внутреннего сопротивления. Однако проверяемая электрическая цепь заряжается, и прикосновение к ней может оказаться опасным. Во время измерения нельзя прикасаться к проводникам обмотки, после измерения обмотку надо сразу разрядить на корпус.

§ 50. Меры пожарной безопасности

Пожар — неконтролируемый процесс горения — может возникнуть там, где есть горючие вещества и источники тепловой энергии.

Горючими могут быть твердые вещества (уголь, нефть, древесина, бумага), жидкости (нефть, керосин, бензин, бензол) и газы (водород, метан, пропан и др.). Пожар может возникнуть в результате искрения или появления электрической дуги в электрических машинах и аппаратах, нагрева проводов токами перегрузки до температуры воспламенения изоляции, мест соединения проводников за счет большого переходного сопротивления контакта, неосторожного обращения с огнем при газосварочных и других работах, самовозгорания некоторых материалов и по другим причинам.

В производственных помещениях, на складах и открытых установках предусматривают средства для тушения пожаров. Применяют для тушения воду, водяной пар и специальные химические вещества. Вода — наиболее дешевое и распространенное средство, однако она непригодна для тушения бензина, бензола, керосина и других легковоспламеняющихся жидкостей с малой плотностью, а также таких веществ, как карбид кальция или селитра, выделяющих при контакте с водой горючие вещества. Воду нельзя применять и для тушения электроустановок, находящихся под напряжением.

Водяной пар применяют в закрытых помещениях. Заполняя пространство, он понижает концентрацию кислорода и температуру горящего вещества. Его используют для тушения обмоток электрических машин и различных твердых и жидких веществ.

В электроустановках при тушении пожара принимают неотложные меры по их отключению. После ликвидации пожара установку включают только после очистки и проверки ее состояния.

Пожар даже при применении эффективных средств тушения приносит большие потери. Профилактика (предупреждения пожара) помогает сберечь народное достояние. Она сводится в основном к строгому соблюдению противопожарного режима на предприятии. В производственных помещениях необходимо соблюдать чистоту и порядок, не допускать захламления. Отходы материалов, тряпки, стружку, опилки надо регулярно убирать в специально отведенные места. Обтирочные материалы (ветошь) должны храниться в металлических ящиках с крышками. Ветошь, бывшая в употреблении, обладает способностью к самовозгоранию. Ее надо ежедневно удалять: сжигать или закапывать в землю.

Длительное хранение на рабочих местах огнеопасных легковоспламеняющихся и горючих жидкостей в объеме, превышающем разовую потребность, категорически запрещается.

Из химических средств огнетушения широкое применение получил диоксид углерода (CO_2). Образуя при быстром испарении снегообразную массу, он охлаждает горящее вещество и снижает концентрацию кислорода. Благодаря низкой электропроводности CO_2 может быть использован для тушения электроустановок, находящихся под напряжением.

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные правила безопасности, которые надо выполнять на территории предприятия и в цехе.
2. Какие правила безопасности надо соблюдать при работе на сверлильном и заточном станках?
3. Как устроено защитное заземление?
4. Какие правила надо соблюдать при ремонте двигателя на месте установки?
5. Расскажите об основных средствах тушения пожаров.
6. Какие огнетушители можно использовать для тушения электроустановок, находящихся под напряжением?

ГЛАВА X

СТАНДАРТИЗАЦИЯ И КАЧЕСТВО ПРОДУКЦИИ

§ 51. Сущность и роль стандартизации

Стандартизация — это плановая деятельность по установлению обязательных правил, норм и требований, выполнение которых обеспечивает качество продукции и повышение производительности общественного труда. Эта деятельность направлена также на повышение эффективности использования материальных ресурсов и соблюдение требований безопасности. Правила, нормы и требования к

определенному объекту стандартизации устанавливаются специальным документом — стандартом, который утверждается компетентным органом. Государственные стандарты (ГОСТы) утверждаются Государственным комитетом СССР по стандартам.

Государственная система стандартизации (ГСС) определяет структуру органов и служб стандартизации, их права и обязанности, порядок разработки и утверждения стандартов, а также порядок контроля за их соблюдением. Основные цели ГСС: усиление роли стандартизации в техническом прогрессе, повышение качества продукции и экономичности ее производства. Стандартизация обеспечивает также условия для развития специализации в народном хозяйстве, международного экономического сотрудничества, единства методов и средств измерений.

В нашей стране всеми работами по стандартизации и метрологии руководит Государственный комитет СССР по стандартам (Госстандарт СССР). В его ведении находятся научно-исследовательские институты, республиканские управления и центры метрологии и стандартизации, лаборатории государственного надзора за стандартизацией и измерительной техникой. Каждая отрасль народного хозяйства имеет свои службы стандартизации.

Государственная система стандартизации в зависимости от сферы действия предусматривает следующие категории стандартов: государственные (ГОСТ), республиканские (РСТ), отраслевые (ОСТ) и стандарты предприятий (СТП). Государственные стандарты являются обязательными для всех предприятий, организаций и учреждений страны. Стандарты предприятий (объединений) действуют только на предприятии (объединении), утвердившем данный стандарт, отраслевые стандарты используют все предприятия и организации данной отрасли (станкостроительной, автотракторной и т. д.).

Стандарт должен включать показатели качества, характеризующие изделие как с точки зрения изготовителя, так и с точки зрения потребителя.

Вопросы стандартизации играют важную роль при разработке современных серий электрических машин. Их номенклатура должна быть такой, чтобы полностью удовлетворить потребности всех отраслей народного хозяйства. Однако в разумных пределах она должна быть ограничена, чтобы на основе унификации сборочных единиц и деталей можно было организовать массовое их производство и внедрить прогрессивные технологические процессы с целью удешевления. Кроме того, ограничение номенклатуры облегчает задачи эксплуатирующих организаций: сокращается парк резервных машин и номенклатура запасных частей к ним.

ГОСТ 12139—74 устанавливает для машин постоянного и переменного тока ряд номинальных мощностей от 0,01 Вт до 10000 кВт. Основной ряд включает 63 значения мощности. В технически обоснованных случаях (для генераторов электроагрегатов, электростанций и т.д.) допускается применение еще 26 значений. Номинальные частоты вращения электрических машин общего назначения определены ГОСТ 10683—73. На генераторы и двигатели постоянного тока установлен диапазон от 25 до 60 000 об/мин (30 значений частоты вращения), на синхронные генераторы и двигатели при частоте переменного тока 50 Гц — от 125 до 3000 об/мин (15 значений), на асинхронные двигатели при частоте 50 Гц — от 100 до 3000 об/мин (14 значений). Государственные стандарты устанавливают также связь между высотой оси вращения и установочными размерами, общие методы испытаний и для отдельных типов машин, требования к исполнению машин для различных климатических районов и т. д.

§ 52. Метрологическая служба в СССР

Качество изделия определяется качеством использованных в нем материалов, точностью соблюдения технологических режимов изготовления деталей и сборочных единиц, качеством сборки. Для соблюдения всех этих требований необходима измерительная техника.

При измерениях необходимо обеспечить их единство и достоверность, что достигается результатами измерений, выраженными в узаконенных единицах, применением приборов и мер определенного класса точности. Единство и правильность измерений в нашей стране обеспечиваются метрологической службой, возглавляемой Государственным комитетом СССР по стандартам. Метрологическая служба представляет собой разветвленную сеть органов, в которую входят 18 научно-исследовательских метрологических институтов, 15 республиканских управлений Госстандарта СССР, более 20 республиканских центров метрологии и стандартизации, около 40 лабораторий государственного надзора за стандартами.

Научно-исследовательские метрологические институты создают и хранят государственные эталоны единиц, разрабатывают новые и повышают точность существующих методов измерений, осуществляют метрологические связи с зарубежными метрологическими организациями. Органы государственной метрологической службы имеют право изымать из обращения непригодные к применению средства измерения, контролировать качество их изготовления и ремонта, запрещать выпуск средств измерений, не соответствующих требованиям стандартов и техническим условиям.

Порядок метрологического контроля устанавливает ГОСТ 8.002—71, который предусматривает поверку средств измерения, метрологическую ревизию и метрологическую экспертизу.

Периодичность поверки приборов зависит от их класса точности, а также от того, насколько важно в тех или иных случаях обеспечить правильность показаний приборов. Так, например, образцовые счетчики подвергают государственной поверке каждый год, трехфазные — 1 раз в два года, а однофазные бытовые — 1 раз в пять лет. Щитовые, а также лабораторные и переносные образцовые приборы всех классов проверяют органы ведомственного контроля данного предприятия или объединения.

§ 53. Конструкторские документы

К конструкторским документам относят графические и текстовые документы, которые определяют состав и устройство изделия и содержат необходимые данные для его изготовления, контроля, приемки, эксплуатации и ремонта. Изделием называют любой предмет (деталь, сборочная единица) или набор предметов (комплекс, комплект), подлежащих изготовлению на предприятии.

Порядок разработки и оформления конструкторской документации устанавливает целый комплекс государственных стандартов — Единая система конструкторской документации (ЕСКД).

ГОСТ 2.102—68 устанавливает следующие виды конструкторских документов: чертеж детали общего вида, сборочный и габаритный чертежи, схему, спецификацию, ведомость покупных изделий, ТУ, программу испытаний и др.

Чертеж детали содержит изображение и другие данные, необходимые для ее изготовления и контроля.

Чертеж общего вида показывает конструкцию изделия, взаимодействие составных частей и поясняет принцип его работы. На габаритном чертеже приводят контурное (упрощенное) изображение изделия с габаритными, установочными и присоединительными размерами.

На сборочном чертеже изображают сборочную единицу, а также приводят все данные, необходимые для ее сборки (изготовления) и контроля. Спецификация определяет состав сборочной единицы.

Габаритные чертежи не предназначаются для изготовления по ним изделия; установочные и присоединительные размеры, необходимые для увязки с другими изделиями, указываются на чертеже с предельными отклонениями.

Схемой называют документ, на котором в виде условных обозначений показаны составные части изделия и связи между ними. Ведомость покупных изделий содержит их перечень.

Технические условия содержат требования к изделию, его изготовлению, контролю, приемке и поставке, которые нецелесообразно указывать в других конструкторских документах.

Программа и методика испытаний — документ, содержащий технические данные, подлежащие проверке при испытании изделия, а также порядок и методы их контроля.

Эксплуатационные и ремонтные документы предназначены для использования при эксплуатации, обслуживании и ремонте изделия.

Технические условия (ТУ) являются неотъемлемой частью комплекта технической документации на продукцию (изделия, материал, вещество и т. п.), на которую они распространяются. При отсутствии конструкторской или другой технической документации на данную продукцию ТУ должны содержать полный комплекс требований к продукции, ее изготовлению, контролю, приемке и поставке.

§ 54. Оценка качества продукции и виды дефектов

Качество продукции — это ее способность удовлетворять определенные потребности в соответствии с назначением. Требования к продукции находят свое выражение в стандартах и ТУ, устанавливаемых государством. Эти требования обязательны не только для производителей, но и для потребителей. Потребители обязаны применять продукцию в соответствии с ее назначением и обеспечивать правильное ее обслуживание. Только при этом условии она способна выполнять свои функции. Таким образом, понятие качества сводится к тому, что изделие должно соответствовать требованиям, установленным ТУ, стандартами и конструкторской документацией.

Количественная оценка свойств продукции, составляющих ее качество, производится с помощью показателей, характеризующих пригодность продукции удовлетворять определенные потребности. Показатели могут выражаться в различных единицах. Например, изоляция обмоток электрических машин, аппаратов, приборов должна выдерживать без повреждения испытательное напряжение, значительно превышающее рабочее напряжение изделия. Испытательное напряжение выражается в вольтах. Это требование обеспечивает безопасную эксплуатацию электротехнических устройств. Все электрические машины в соответствии с ГОСТ 183—74 должны без повреждений и остаточных деформаций выдерживать в течение 2 мин повышение частоты вращения не менее чем на 20%.

ГОСТ 15467—79 устанавливает применяемые в науке и технике термины и определения основных понятий в области управления качеством продукции. Даются точные определения терминам: качество продукции, показатель качества продукции, годная продукция, дефект, брак и т. д. Приведены также термины, относящиеся к методам определения качества продукции.

Годной называется продукция, удовлетворяющая всем установленным требованиям. Каждое отдельное несоответствие установленным требованиям считается дефектом, а изделие, имеющее хотя бы один дефект,— дефектным. Примерами дефектов могут быть: выход размера детали за пределы допуска, неправильная сборка или регулировка аппарата, царапины на защитном покрытии изделия, наличие заусенцев на резьбе.

Различают несколько видов дефектов: явный и скрытый, значительный и малозначительный, устранимый и неустранимый. Под явным понимают дефект, для выявления которого в документации предусмотрены соответствующие правила, методы и средства. Скрытые дефекты обычно выявляются после поступления продукции к потребителю или при дополнительных проверках. Значительным называется дефект, который существенно влияет на использование продукции по назначению или на ее долговечность. Неустранимым называется дефект, устранение которого практически невозможно или экономически нецелесообразно. Один и тот же дефект может быть отнесен к устранимым или неустранимым в зависимости от того,

обнаружен он на ранних или на заключительных этапах технологического процесса производства или ремонта продукции.

Продукция, передача которой потребителю не допускается из-за наличия дефектов, называется браком. Брак может быть исправимым и неисправимым в зависимости от наличия в продукции устранимых или неустранимых дефектов.

Контрольные вопросы

1. Расскажите о Государственной системе стандартизации и ее роли в техническом прогрессе.
2. Какие задачи решает метрологическая служба?
3. Перечислите основные виды конструкторских документов и расскажите об их содержании.
4. Каким образом стандартизация влияет на качество продукции?

Приложение. Обмоточные данные закрытых асинхронных короткозамкнутых двигателей единой серии 4А при высотах оси вращения 50—132 мм

Обозначение	P, кВт	D_a, мм	D_i, мм	l_1, мм	z_1, мм	z_2, мм	δ, мм	b_1, мм	b_2, мм	$b_ш$, мм	h, мм	y	$l_{ср}$, мм
4АА50А2У3	0,09	81	41	42	12	9	0,25	8,7	10,9	1,8	9,6	7; 5	294
4АА50В2У3	0,12	81	41	50	12	9	0,25	8,7	10,9	1,8	9,6	7; 5	310
4АА50А4У3	0,06	81	46	42	12	15	0,25	9,7	12,4	1,8	11,0	3	230
4АА50В4У3	0,09	81	46	50	12	15	0,25	9,7	12,4	1,8	11,0	3	246
4АА56А2У3	0,18	89	48	47	24	18	0,25	4,5	5,8	1,8	8,0	11; 9	306
4АА56В2У3	0,25	89	48	56	24	18	0,25	4,5	5,8	1,8	8,0	11; 9	324
4АА56А4У3	0,12	89	55	47	24	18	0,25	4,8	6,4	1,8	9,8	7; 5	257
4АА56В4У3	0,18	89	55	56	24	18	0,25	4,8	6,4	1,8	9,8	7; 5	275
4АА63А2У3	0,37	100	54	56	24	18	0,30	4,8	6,3	1,8	9,0	11; 9	390
4АА63В2У3	0,55	100	54	65	24	18	0,30	4,8	6,3	1,8	9,0	11; 9	350
4АА63А4У3	0,25	100	61	56	24	18	0,25	4,7	6,5	1,8	10,4	7; 5	272
4АА63В4У3	0,37	100	61	65	24	18	0,25	4,7	6,5	1,8	10,4	7; 5	290
4АА63А6У3	0,18	100	65	56	36	28	0,25	3,5	4,9	1,8	10,9	7; 5	244
4АА63В6У3	0,25	100	65	75	36	28	0,25	3,5	4,9	1,8	10,9	7; 5	282
4А71А2У3	0,75	116	65	65	24	20	0,35	5,9	7,5	2,0	9,3	11; 9	420
4А71В2У3	1,1	116	65	74	24	20	0,35	5,9	7,5	2,0	9,3	11; 9	438
4А71А4У3	0,55	116	70	65	24	17	0,25	5,2	7,3	2,0	11,6	7; 5	336
4А71В4У3	0,75	116	70	74	24	17	0,25	5,2	7,3	2,0	11,6	7; 5	354
4А71А6У3	0,37	116	76	65	36	28	0,25	3,9	5,5	2,0	12,2	7; 5	300
4А71В6У3	0,55	116	76	90	36	28	0,25	3,9	5,5	2,0	12,2	7; 5	350
4А71В8У3	0,25	116	76	74	36	28	0,25	3,9	5,5	2,0	12,2	5; 3	296
4А80А2У3	1,5	131	74	78	24	20	0,35	6,8	8,5	3,0	11,6	11; 9	474
4А80В2У3	2,2	131	74	98	24	20	0,35	6,8	8,5	3,0	11,6	11; 9	514
4А80А4У3	1,1	131	84	78	36	28	0,25	4,4	6,0	2,5	12,1	11; 9; 7	392
4А80В4У3	1,5	131	84	98	36	28	0,25	4,4	6,0	2,5	12,1	11; 9; 7	432
4А80А6У3	0,75	131	88	78	36	28	0,25	4,3	6,0	2,5	13,0	7; 5	336
4А80В6У3	1,1	131	88	115	36	28	0,25	4,3	6,0	2,5	13,0	7; 5	410
4А80А8У3	0,37	131	88	78	36	28	0,25	4,3	6,0	2,5	13,0	5; 3; 5	310
4А80В8У3	0,55	131	88	98	36	28	0,25	4,3	6,0	2,5	13,0	5; 3; 5	350

Обозначение	P, кВт	D_a, мм	D_i, мм	l_1, мм	z_1, мм	z_2, мм	δ, мм	b_1, мм	b_2, мм	b_3, мм	h, мм	y	$l_{ср}$, мм
4А90L2У3	3,0	149	84	100	24	20	0,40	8,1	10,1	3,2	12,6	11; 9	572
4А90L4У3	2,2	149	95	100	36	28	0,25	4,8	6,5	3,0	12,9	11; 9; 7	462
4А90L6У3	1,5	149	100	110	36	28	0,25	4,7	6,6	2,7	13,8	7; 5	432
4А90LА8У3	0,75	149	100	100	36	28	0,25	4,7	6,6	2,7	13,8	5; 3; 5	370
4А90LВ8У3	1,1	149	100	130	36	28	0,25	4,7	6,6	2,7	13,8	5; 3; 5	430
4А100S2УР	4,0	168	95	100	24	20	0,45	9,1	11,3	3,5	14,1	11; 9	634
4А100L2У3	5,5	168	95	130	24	20	0,45	9,1	11,3	3,5	14,1	11; 9	694
4А100S4У3	3,0	168	105	100	36	28	0,30	4,9	7,1	3,0	15,8	11; 9; 7	500
4А100L4У3	4,0	168	105	130	36	28	0,30	4,9	7,1	3,0	15,8	11; 9; 7	560
4А100L6У3	2,2	168	113	120	36	28	0,30	5,4	7,5	3,0	15,4	7; 5	470
4А100L8У3	1,5	168	113	120	36	28	0,30	5,4	7,5	3,0	15,4	5; 3; 5	436
4А112М2У3	7,5	191	110	125	24	22	0,60	10,5	12,6	3,5	15,1	11; 9	700
4А112М4У3	5,5	191	126	125	36	34	0,30	6,5	8,2	3,5	14,3	11; 9; 7	572
4А112МА6У3	3,0	191	132	100	54	51	0,30	4,3	5,7	3,0	15,6	11; 9; 7	454
4А112МВ6У3	4,0	191	132	125	54	51	0,30	4,3	5,7	3,0	15,6	11; 9; 7	504
4А112МА8У3	2,2	191	132	100	48	44	0,30	4,5	6,3	3,0	17,5	7; 5	416
4А112МВ8У3	3,0	191	132	130	48	44	0,30	4,5	6,3	3,0	17,5	7; 5	476
4А132М2У3	11,0	225	130	130	24	19	0,60	10,2	13,4	4,0	16,5	11; 9	772
4А132S4У3	7,5	225	145	115	36	34	0,35	6,1	9,2	3,5	17,8	11; 9; 7	596
4А132М4У3	11,0	225	145	160	36	34	0,35	6,1	9,2	3,5	17,8	11; 9; 7	686
4А132S6У3	5,5	225	158	115	54	51	0,35	4,8	6,6	3,5	16,0	11; 9; 7	516
4А132М6У3	7,5	225	158	160	54	51	0,35	4,8	6,6	3,5	16,0	11; 9; 7	606
4А132S8У3	4,0	225	158	115	48	44	0,35	4,8	7,1	3,5	17,6	7; 5	470
4А132М8У3	5,5	225	158	160	48	44	0,35	4,8	7,1	3,5	17,6	7; 5	560

Обозначение	U=220; 380 В (Δ; Y)					U=380; 660 В (Δ; Y)				
	d, мм	M, кг	n	a	r, Ом	d, мм	M, кг	n	a	r, Ом
4АА50А2У3	0,27	0,44	450	1	82,5	—	—	—	—	—
4АА50В2У3	0,31	0,54	394	1	57,8	—	—	—	—	—
4АА50А4У3	0,27	0,49	635	1	91,1	—	—	—	—	—
4АА50В4У3	0,31	0,55	500	1	59,1	—	—	—	—	—
4АА56А2У3	0,29	0,40	166	1	54,9	—	—	—	—	—
4АА56В2У3	0,33	0,46	143	1	38,7	—	—	—	—	—
4АА56А4У3	0,29	0,50	254	1	70,6	—	—	—	—	—

Обозначение	U=220; 380 В (Δ; Y)					U=380; 660 В (Δ; Y)				
	d, мм	M, кг	n	a	r, Ом	d, мм	M, кг	n	a	r, Ом
4АА56В4У3	0,33	0,56	203	1	46,6	—	—	—	—	—
5АА63А2У3	0,38	0,55	126	1	26,2	—	—	—	—	—
4АА63В2У3	0,44	0,63	101	1	16,6	—	—	—	—	—
4АА63Т4У3	0,38	0,61	169	1	29,0	—	—	—	—	—
4АА63В4У3	0,41	0,61	137	1	21,5	—	—	—	—	—
4АА63В6У3	0,33	0,62	170	1	52,0	—	—	—	—	—
4АА63В6У3	0,41	0,85	131	1	30,0	—	—	—	—	—
4А71А2У3	0,53	0,91	89	1	12,1	0,41	0,94	154	1	35,0
4А71В2У3	0,59	0,96	73	1	8,35	0,44	0,92	126	1	25,9
4А71А4У3	0,53	0,92	113	1	12,3	0,41	0,93	192	1	34,9
4А71В4У3	0,57	0,94	95	1	9,41	0,44	0,97	164	1	27,3
4А71А6У3	0,47	0,98	114	1	21,1	—	—	—	—	—
4А71В6У3	0,53	1,08	85	1	14,4	0,41	1,11	147	1	41,8
4А71В8У3	0,41	0,95	148	1	35,6	—	—	—	—	—
4А80А2У3	0,80	1,59	61	1	4,11	0,59	1,51	106	1	13,1
4А80В2У3	0,93	1,82	48	1	2,59	0,69	1,74	83	1	8,15
4А80А4У3	0,67	1,36	60	1	7,15	0,51	1,35	102	1	21,0
4А80В4У3	0,74	1,49	49	1	5,30	0,56	1,44	85	1	16,0
4А80А6У3	0,59	1,24	82	1	10,8	0,44	1,19	142	1	33,6
4А80В6У3	0,72	1,58	58	1	6.26	0,53	1,51	101	1	20,1
4А80А8У3	0,49	1,16	121	1	21,3	—	—	—	—	—
4А80В8У3	0,57	1,33	91	1	13,4	0,44	1,34	153	1	37,7
4А90L2У3	1,08	2,51	44	1	1,96	0,80	2,39	76	1	6,18
4А90L4У3	0,90	1,92	40	1	3,11	0,67	1,84	69	1	9,70
4А90L6У3	0,83	1,95	51	1	4,36	0,62	1,89	88	1	13,5
4А90LА8У3	0,67	1,58	74	1	8,32	0,51	1,60	128	1	24,8
4А90LВ8У3	0,77	1,91	58	1	5,74	0,57	1,83	101	1	18,2
4А100S2У3	0,96	3,78	38×2	1	1,19	1,00	3,58	66	1	3,81
4А100L2У3	1,08	4,12	30×2	1	0,812	1,16	4,15	52	1	2,44
4А100S4У3	1,12	2,80	35	1	1,90	0,86	2,85	60	1	5,53
4А100L4У3	1,30	3,39	28	1	1,27	0,96	3,18	48	1	3,98
4А100L6У3	1,04	2,81	43	1	2,55	0,80	2,87	74	1	7,41
4А100L8У3	0,93	2,71	56	1	3,85	0,69	2,57	97	1	12,1
4А112М2У3	1,25	4,88	26×2	1	0,530	1,35	4,92	45	1	1,57
4А112М4У3	1,40	3,61	25	1	0,995	1,04	3,44	43	1	3,10

Продолжение прилож.

Обозначение	U=220; 380 В (Δ; Y)					U=380; 660 В (Δ; Y)				
	d, мм	M, кг	n	a	r, Ом	d, мм	M, кг	n	a	r, Ом
4А112МА6У3	1,12	3,09	28	1	2,07	0,86	3,12	48	1	6,03
4А112МВ6С3	1,25	3,51	23	1	1,52	0,93	3,37	40	1	4,77
4А112МА8У3	1,04	3,03	39	1	2,73	0,80	3,08	67	1	7,92
4А112МВ8У3	1,20	3,68	31	1	1,86	0,90	3,52	53	1	5,67
4А132М2У3	1,20	6,06	21×3	1	0,341	1,12	5,98	36×2	1	1,01
4А132S4У3	1,25	5,27	22×2	1	0,572	1,35	5,30	38	1	1,70
4А132М4У3	1,04	6,14	32×2	2	0,346	1,12	6,21	56	2	1,04
4А132S6У3	1,04	4,33	20×2	1	0,976	1,12	4,38	35	1	2,95
4А132М6У3	1,20	5,10	15×2	1	0,646	1,30	5,15	26	1	1,91
4А132S8У3	1,40	4,28	27	1	1,18	1,04	4,12	47	1	3,71
4А132М8У3	1,08	4,72	21×2	1	0,917	1,20	5,02	36	1	2,55

Примечания: 1. В таблице приняты следующие обозначения: P, U — номинальная мощность и напряжение двигателя; D_a, D_i — наружный и внутренний диаметры сердечника статора; l_1 — длина сердечника статора; z_1, z_2 — число пазов статора и ротора; δ — односторонний воздушный зазор между статором и ротором; b_1, b_2 — ширина паза статора со стороны воздушного зазора и у дна; b_3 — ширина шлица паза статора; h — высота паза статора; y — шаг обмотки под пазом; l — средняя длина витка; d — диаметр провода (без изоляции); M — масса провода обмотки; n — число проводников в пазу; a — число параллельных ветвей; r — сопротивление обмотки (фазы при трехфазной обмотке) при 20° С. 2. Шаги обмоток из-за экономии места обозначены одной цифрой, например: для однослойной концентрической обмотки y=11; 9; 7, что равноценно 1—12; 2—11; 3—10 (катушки находятся одна внутри другой). 3. Число проводников в пазу обозначено цифрами или произведением, где множимое означает число эффективных, а множитель — число параллельных (элементарных) проводников, например, n=43 означает, что обмотка однослойная, наматывается одним проводом (параллельных проводников нет), число эффективных проводников 43 и общее число проводников в пазу 43; n=43×3 означает, что обмотка однослойная, наматывается тремя параллельными проводами, число эффективных проводников 43, общее число проводников в пазу 43×3=129.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Антонов М. В. Технология сборки электрических машин и аппаратов.— М.: Высшая школа, 1986.

Атабеков В. Б. Ремонт трансформаторов и электрических машин.— М.: Высшая школа, 1983.

Деро А. Р. Неполадки в работе асинхронного двигателя.— Л.: Энергия, 1976.

Гемке Р. К. Неисправности электрических машин.— Л.: Энергия, 1975.

Крысин А. М., Наумов И. З. Слесарь механосборочных работ.— М.: Высшая школа, 1982.

Мандрыкин С. А. Ремонт электродвигателей.— М.: Энергоатомиздат, 1983.

Семенов В. А. Справочник молодого электромонтера по ремонту электрооборудования промышленных предприятий.— М.: Высшая школа, 1986.

Справочник по ремонту крупных электродвигателей/Под ред. Р. И. Соколова.— М.: Энергоатомиздат, 1985.

Смирнов П. В. Средства механизации электромонтажных работ.— Л.: 1983.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Учебное издание

Александр Сергеевич Кокорев

Электрослесарь
по ремонту
электрических машин

Зав. редакцией С. В. Никитина
Редактор Г. А. Сильвестрович
Мл. редакторы М. Б. Кочерова, Л. Е. Чеканская
Художник Б. А. Казачков
Художественный редактор В. Г. Пасичник
Технический редактор А. К. Нестерова
Корректор Г. А. Чечеткина

ИБ № 7284

Изд. № ЭГ-167. Сдано в набор 09.04.87. Подп. в печать 26.08.87. Формат $60 \times 90^1/_{16}$. Бум. тип. № 1. Гарнитура литературная. Печать высокая. Объем 11 усл. печ. л. 11,25 усл. кр.-отт. 11,29 уч.-изд. л.
Тираж 75 000 экз. Зак. № 785. Цена 25 коп.
Издательство «Высшая школа». 101430, Москва, ГСП-4, Неглинная ул., д.29/14.
Ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени МПО «Первая Образцовая типография» имени А. А. Жданова Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 113054, Москва, Валовая, 28